

TESE
183

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

"Fluxo Otimizado de Potência"

Marcelo di Lorenzo Corrêa

— 1978 —

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ



131 XEROX

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

DE MESTRADO

"FLUXO OTIMIZADO DE POTENCIA"

POR

MARCELO DI LORENZO CORRÊA

- 1978 -

CLASS. 621.3.02.001.24(043.2)

CUTT. C 824f

TOMBO 183

A Valéria, Marina e Helena

A G R A D E C I M E N T O S

- À CEMIG pela oportunidade que me foi proporcionada de participar do III Curso de Engenharia de Sistemas Eléctricos (CESE), em nível de Pós-Graduação, realizado na ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ, sob o patrocínio da ELETROBRÁS, e, também, pela utilização do computador digital HP-2000.
- Ao Professor Márcio António Curi pela orientação e os fundamentos da matéria apresentada.
- Aos colegas de trabalho e, em especial, ao Engenheiro Wilson Coutinho que nos transmitiu o entusiasmo e os incentivos à elaboração deste trabalho.
- À Senhorita Maria Luiza Santos Rodrigues, pela eficiência e presteza em datilografar os manuscritos.

S I N O P S E

O trabalho apresentado trata da análise e aplicação de um método para a solução do problema de fluxo de potência, tendo em vista, também, a minimização dos custos de produção ou das perdas de um sistema elétrico.

O método baseia-se na solução de um fluxo de potência pelo processo de Newton-Raphson e na técnica de otimização Gradiente, para obtenção do mínimo. As restrições de desigualdade das variáveis dependentes são levadas em consideração através de funções de penalização.

Na primeira parte do trabalho é descrita a formulação matemática do problema, enquanto que na segunda parte é apresentado o programa digital desenvolvido e também a análise de alguns exemplos processados.

INDICE

1.0 -	INTRODUÇÃO.....	1
2.0 -	ESCOLHA DO METODO.....	2
3.0 -	MODELO MATEMATICO.....	3
3.1 -	Classificação das Variaveis.....	3
3.2 -	Equações de um Fluxo de Potencia.....	3
3.3 -	Formulação Matemática de um Fluxo de Po- tencia Otimo.....	7
3.3.1 -	Função Objetivo.....	7
3.3.2 -	Restrições.....	8
3.3.3 -	Formulação Geral.....	8
3.3.4 -	Algoritmo de Solução pelo Método Gradiente.....	13
4.0 -	APLICAÇÃO DO METODO.....	16
4.1 -	Definição da Função Objetivo.....	16
4.2 -	Variaveis Consideradas.....	17
4.2.1 -	Variaveis de controle.....	17
4.2.2 -	Variaveis Dependentes.....	17
4.2.3 -	Variaveis de Perturbação.....	17
4.3 -	Restrições.....	18
4.3.1 -	Restrições de Igualdade.....	18
4.3.2 -	Restrições de Desigualdade.....	18
4.4 -	Função Objetivo Penalizada.....	19
4.5 -	Função de Lagrange e Condições Necessá- rias à Minimização.....	20

4.6 - Aplicação do Algoritmo de Solução do Método Gradiente.....	21
4.6.1 - Estimativa Inicial das Variaveis de Controle.....	21
4.6.2 - Solução das Equações de Fluxo de Potencia.....	21
4.6.3 - Teste e Penalização das Variaveis Dependentes.....	23
4.6.4 - Cálculo dos Multiplicadores de Lagrange.....	23
4.6.5 - Cálculo do Gradiente das Variaveis de Controle.....	27
4.6.6 - Teste dos Gradientes das Variaveis de Controle.....	33
4.6.7 - Cálculo das Novas Variaveis de Controle.....	33
4.6.8 - Teste das Novas Variaveis de Controle.....	34
5.0 - PROGRAMAÇÃO DIGITAL.....	36
5.1 - Características Principais do Programa....	36
5.2 - Estrutura do Programa.....	36
5.3 - Processamento de Dados.....	39
5.3.1 - Entrada de Dados.....	39
5.3.2 - Processamento de Dados.....	40
5.3.3 - Saida de Dados.....	41
6.0 - EXEMPLOS ANALISADOS	43
6.1 - Minimização dos Custos de Produção.....	43

6.2 - Minimização das Perdas.....	44
6.3 - Casos Testes para a Função de Penaliza- ção da Potencia Gerada na Barra de Com- pensation.....	45
6.4 - Casos Testes para a Função de Penaliza- ção das Tensões das Barras de Carga.....	46
7.0 - COMENTARIOS FINAIS E CONCLUSÕES.....	49
8.0 - REFERENCIAS.....	51

ANEXOS

- I - ALGORITMO DE SOLUÇÃO DO METODO GRADIENTE
- II - LISTAGEM DE COMPUTADOR DO PROGRAMA DIGITAL EM LIN
GUAGEM FORTRAM IV
- III - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROGRAMA
- IV - CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS UTILIZADOS NOS EXEM
PLOS
- V - TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS DE MINIMIZAÇÃO DOS
CUSTOS DE PRODUÇÃO
- VI - LISTAGEM DE COMPUTADOR DOS RESULTADOS DO CASO 4
(MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO)
- VII - TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS DE MINIMIZAÇÃO DE
PERDAS
- VIII - LISTAGEM DE COMPUTADOR DOS RESULTADOS DO CASO 12
(MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS)
- IX - TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS TESTES PARA A FUN-
ÇÃO DE PENALIZAÇÃO DA POTENCIA DE GERAÇÃO DA BAR
RA DE COMPENSAÇÃO
- X - TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS TESTES PARA A FUN-
ÇÃO DE PENALIZAÇÃO DAS TENSÕES DAS BARRAS DE CAR
GA
- XI - GRAFICO DE PERDAS DO SISTEMA DE 3 BARRAS

1.0 - INTRODUÇÃO

A solução de um fluxo de potencia é obtida pela determinação das tensões nos barramentos e potencias que fluem nas linhas de um sistema elétrico, a partir de algumas condições previamente especificadas.

Entretanto, se essas condições são determinadas de modo que permita a obtenção de uma solução, tal que os custos de produção ou as perdas de potencia ativa, por exemplo, sejam minimizadas, dizemos que se trata de um fluxo de potencia otimizado.

A utilização dessa ferramenta na análise de sistemas elétricos de potência, tanto por engenheiros de planejamento quanto de operação, evitará a necessidade de vários processamentos para a obtenção de um melhor perfil de tensão, das reais necessidades de geração de reativos, do despacho adequado de potência ativa etc., atendendo, ainda às capacidades físicas e técnicas dos diversos equipamentos do sistema.

2.0 - ESCOLHA DO MÉTODO

Nos últimos anos foram publicados vários trabalhos sobre métodos de otimização estática para fluxos de potência ativa e/ou reativa.

O método escolhido foi desenvolvido por HERMANN W. DOMMEL e WILLIAN F. TINNEY (1), o qual baseia-se na solução do fluxo de potência pelo processo de Newton-Raphson complementado pela técnica de otimização denominada gradiente.

Essa técnica de otimização permite a minimização de uma função objetivo não linear, sujeita à restrições de igualdade e desigualdade, também não lineares. O problema básico está em se achar a direção do gradiente da função objetivo e caminhar no sentido contrário, diminuindo o valor da função e observando as restrições. O processo é iterativo dado o caráter não linear do problema.

Esse método foi escolhido por apresentar as seguintes características básicas fundamentais:

- Solução exata e completa do fluxo de potência ótimo.
- Pode ser programado como uma extensão de um fluxo de potência resolvido pelo método de Newton-Raphson.
- A convergência é obtida em poucas iterações, da ordem de 5 à 10, para a grande maioria dos sistemas elétricos. Entretanto, dependendo da complexidade do sistema em estudo, esse número pode ser maior.
- Os resultados são bastante satisfatórios sob o aspecto de precisão.

3.0 - MODELO MATEMÁTICO

3.1 - Classificação das Variáveis

As variáveis que definem uma condição operativa de um sistema elétrico podem ser classificadas em três grupos:

- 1) Variáveis dependentes ou de estado.
- 2) Variáveis independentes ou de controle.
- 3) Variáveis de distúrbio ou perturbação.

1) As variáveis dependentes representadas pelo vetor $[x]$ são aquelas que definem o estado de funcionamento de um sistema. Podemos citar como exemplo, a tensão e o ângulo correspondente das barras de carga, os fluxos das linhas, etc.

2) As variáveis de controle são aquelas estabelecidas previamente e que visam a manutenção de um estado de funcionamento do sistema. De um modo geral, são as potências reativas geradas nas barras, os comutadores sob carga de transformadores, as potências ativas disponíveis para geração, etc. O vetor designativo dessas variáveis é representado por $[u]$.

3) As variáveis de perturbação, normalmente representadas pelo vetor $[p]$, são as demandas de potências ativas e reativas das barras, sobre as quais não temos nenhum controle. (o elemento de YN)

3.2 - Equações de um Fluxo de Potência

A equação que define a potência injetada em uma bar

ra "K" de um sistema é dada por:

$$PINJ_k - jQINJ_k = V_k e^{-j\theta_k} \sum_{m=1}^N (G_{km} + jB_{km}) V_m e^{j\theta_m} \quad (1)$$

para: $K = 1 \dots N$

$$I_i = \sum Y_{ik} E_k$$

onde:

$$S_i = E_i I_i^*$$

$$I_i = \frac{S_i^*}{E_i^*}$$

V_k - módulo de tensão da barra k

V_m - módulo de tensão da barra m

θ_k - ângulo de tensão da barra k

θ_m - ângulo de tensão da barra m

G_{km}, B_{km} - elementos da matriz Y_{BARRA}

$PINJ_k, QINJ_k$ - potência ativa e reativa injetada na barra

N - número de barras do sistema

Representando o lado direito da equação (1) por $P_k(V, \theta) - jQ_k(V, \theta)$, temos:

$$P_k(V, \theta) - PINJ_k = 0 \quad (2)$$

$$Q_k(V, \theta) - QINJ_k = 0 \quad (3)$$

para: $K = 1 \dots N$

Cada barra é definida por duas equações, onde temos 4 (quatro) variáveis: $PINJ_k$, $QINJ_k$, V_k e θ_k , das quais duas são especificadas e as outras duas

são incógnitas.

Dependendo de quais variáveis sejam especificadas, as barras podem ser classificadas segundo três tipos, conforme mostra a tabela abaixo:

TIPO DA BARRA	VARIÁVEIS ESPECIFICADAS	VARIÁVEIS INCÓGNITAS
1. Compensação	V, θ	$PINJ, QINJ$
2. Carga	$PINJ, QINJ$	V, θ
3. Geração	$PINJ, V$	$QINJ, \theta$

Os valores de $PINJ$ e $QINJ$ são determinados diretamente das equações (2) e (3), desde que se conheça V e θ de todas as barras do sistema.

Assim sendo, a partir do vetor $[x]$ definido por:

$$[x] = \begin{bmatrix} V \\ \theta \\ \theta \end{bmatrix} \begin{matrix} \left. \begin{matrix} V \\ \theta \end{matrix} \right\} \text{ barras de carga} \\ \theta - \text{ barras de geração} \end{matrix} \quad (4)$$

e do vetor $[u, p]$ definido por:

$$[u, p] = \begin{bmatrix} V_1 \\ \theta_1 \\ PINJ \\ QINJ \\ PINJ \\ V \end{bmatrix} \begin{matrix} \left. \begin{matrix} V_1 \\ \theta_1 \end{matrix} \right\} \text{ barra de compensação} \\ \left. \begin{matrix} PINJ \\ QINJ \end{matrix} \right\} \text{ barras de carga} \\ \left. \begin{matrix} PINJ \\ V \end{matrix} \right\} \text{ barras de geração} \end{matrix} \quad (5)$$

e com equações (2) e (3) é formado o vetor $[g]$,

mostrado abaixo, o qual representa as equações de um fluxo de potência.

$$\left[g(x, u, p) \right] = \begin{cases} \text{eq. (2) e (3) barras de carga} \\ \text{eq. (2) barras de geração} \end{cases} \quad (6)$$

A aplicação do método de Newton-Raphson ao sistema de equações representado pela expressão (6), conduzirá à solução de problema através de sucessivas a aproximações para o vetor $\begin{bmatrix} x \end{bmatrix}$.
Temos então

$$\begin{bmatrix} x^{h+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \end{bmatrix} \quad (7)$$

sendo $\begin{bmatrix} \Delta x \end{bmatrix}$ determinado pela resolução do conjunto de equações lineares

$$\left[\frac{\partial g(x^h, u, p)}{\partial x} \right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} g(x^h, u, p) \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde:

$$\left[\frac{\partial g}{\partial x} \right] - \text{matriz jacobiana}$$

O processo, assim descrito, normalmente converge em 5 à 8 iterações independente de tamanho do sistema. Exige, porém, que se estime um vetor inicial próximo da solução, e que não é difícil por se tratar da

solução de um fluxo de potencia de um sistema elétrico.

3.3 - Formulação Matemática de um Fluxo de Potencia Otimizado

3.3.1 - Função Objetivo

A função objetivo para um fluxo de potencia ótimo de potencia ativa e reativa pode ser definida pelo somatório dos custos de produção de todas as usinas despacháveis do sistema, conforme expressão a seguir:

$$f = \sum K_i (PG_i) \quad ; \quad \text{para } i=1.....NG \quad (9)$$

onde:

- f - custo total de produção em \$/hora
- PG_i - potência ativa gerada na barra i
- K_i - custo de produção da potência PG_i
- NG - número das barras com geração de potência ativa

No caso de um fluxo ótimo de potência reativa, o qual otimiza o fluxo de potência reativa de um sistema através da minimização das perdas ativas, a função objetivo é definida pela potência $P_1(V, \theta)$ da barra de compensação.

Temos então:

$$f = P_1(V, \theta) \quad (10)$$

O fluxo de potência ótimo com a função objetivo assim definida é mais apropriado para sistemas hidráulicos onde o despacho das u sinas é determinado por outros fatores, co mo por exemplo, controle de reservatórios. Observa-se, neste caso, que o estado ótimo de funcionamento do sistema coincide com a condição de perdas mínimas.

3.3.2 - Restrições

O problema da minimização dessas funções ou de qualquer outra conforme se deseja definir, estará sujeito às equações de fluxo de potência dadas por (6)

$$g(x,u,p) = 0$$

e também às características dos elementos que compõem o sistema, expressas pelas inequações

$$PG^{MIN} \leq PG \leq PG^{MAX}$$

$$QG^{MIN} \leq QG \leq QG^{MAX}$$

$$V^{MIN} \leq V \leq V^{MAX}$$

3.3.3 - Formulação Geral

De um modo geral o problema pode ser formulado da seguinte maneira:

minimizar a função: $f(x,u)$

sujeito às condições:

$$g(x,u,p) = 0$$

e

$$\begin{array}{ccc} u^{\text{MIN}} & \leq & u \leq u^{\text{MAX}} \\ x^{\text{MIN}} & \leq & x \leq x^{\text{MAX}} \end{array}$$

onde:

$f(x,u)$ - função objetivo

$g(x,u,p)$ - restrições de igualdade representativas das equações de fluxo de potencia

$u^{\text{MIN}} \leq u \leq u^{\text{MAX}}$ - restrições de desigualdade das variáveis de controle

$x^{\text{MIN}} \leq x \leq x^{\text{MAX}}$ - restrições de desigualdade das variáveis dependentes

A transformação do problema com restrições, assim definido, em um problema sem restrições, é conseguida através da função de Lagrange.

Considerando-se, inicialmente, somente as restrições de igualdade temos:

$$L(x,u,p) = f(x,u) + [\lambda]^T \cdot [g(x,u,p)] \quad (11)$$

onde:

λ - multiplicadores de Lagrange

$L(x,u,p)$ - função de Lagrange

O teorema de KUHN-TUCKER estabelece as condições que devem ser satisfeitas no mínimo de um problema de otimização não-linear, com restrições de igualdade e desigualdade, também, não-lineares. Baseando-se nisso as condições de KUHN-TUCKER complementam as condições de Lagrange, permitindo a inclusão das restrições

de desigualdade na função sem restrição, dada pela expressão (11) .

Entretanto o teorema será aplicado somente para as restrições de desigualdade das variáveis de controle, uma vez que a inclusão das restrições das variáveis dependentes traria problemas de computação numérica.

Dessa forma a função de Lagrange fica:

$$L(x,u,p) = f(x,u) + [\lambda]^T \cdot [g(x,u,p)] + \\ + [\mathcal{M}_{MAX}]^T \cdot ([u] - [u^{MAX}]) + \\ + [\mathcal{M}_{MIN}]^T \cdot ([u^{MIN}] - [u]) \quad (12)$$

sujeito às equações de exclusão:

$$[\mathcal{M}_{MAX}]^T \cdot ([u] - [u^{MAX}]) = 0 \quad (13)$$

$$[\mathcal{M}_{MIN}]^T \cdot ([u^{MIN}] - [u]) = 0 \quad (14)$$

$$\mathcal{M}_{MIN} \geq 0 \quad , \quad \mathcal{M}_{MAX} \geq 0$$

onde:

u^{MIN} , u^{MAX} - limites das variáveis de controle

$\mathcal{M}_{MIN}$, $\mathcal{M}_{MAX}$ - multiplicadores de Lagrange

As derivadas parciais da função de Lagrange em relação as variáveis $x, u, \lambda, \mathcal{M}_{MIN}, \mathcal{M}_{MAX}$, e, igualadas a zero, fornecem as condições necessárias para o mínimo, desde que as funções

sejam convexas. Temos então:

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \lambda} \right] = [g(x, u, p)] = 0 \quad (15)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \mu_{\text{MIN}}} \right] = ([u^{\text{MIN}}] - [u]) = 0 \quad (16)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \mu_{\text{MAX}}} \right] = ([u] - [u^{\text{MAX}}]) = 0 \quad (17)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial x} \right] = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^T \cdot [\lambda] = 0 \quad (18)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial u} \right] = \left[\frac{\partial f}{\partial u} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u} \right]^T \cdot [\lambda] - [\mu_{\text{MIN}}] + [\mu_{\text{MAX}}] = 0 \quad (19)$$

Observa-se pelas equações (13), (14), (16), (17), e (19) que se uma variável u_i viola um dos limites estabelecidos, ela toma o valor de u_i^{MAX} ou u_i^{MIN} correspondente ao limite violado, e μ_{MIN} ou μ_{MAX} podem ter qualquer valor.

Por outro lado se u_i satisfaz os limites estabelecidos então μ_{MIN} e μ_{MAX} são igualados a zero.

Assim:

$$\begin{aligned} \mu &= 0 & \text{se} & & u_i^{\text{MIN}} \leq u_i \leq u_i^{\text{MAX}} \\ \mu &= \mu_{\text{MAX}} & \text{se} & & u_i = u_i^{\text{MAX}} \\ \mu &= \mu_{\text{MIN}} & \text{se} & & u_i = u_i^{\text{MIN}} \end{aligned}$$

Vê-se então que as condições de KUHN-TUCKER não constituem um algoritmo para a solução, elas, simplesmente, descrevem as condições que devem ser satisfeitas no mínimo de um problema de otimização não-linear, com restri-

ções de igualdade e desigualdade também não lineares.

Dessa forma, conforme estabelecido, as restrições de desigualdade para as variáveis de controle, são facilmente observadas, bastando que não deixemos que elas ultrapassem seus limites.

Para as restrições de desigualdade das variáveis dependentes, não é possível utilizar o mesmo procedimento em razão dos problemas de computação, sendo então adotadas funções de penalização.

Assim sendo, quando os limites das variáveis dependentes são violadas, é incorporada à função objetivo uma penalidade para as inequações correspondentes, que forçará o atendimento dos limites estabelecidos.

Dessa forma a função objetivo fica:

$$F(x,u)=f(x,u)+\sum S_j(x_j-x_j^{\text{MIN}})^2+\sum S_j(x_j-x_j^{\text{MAX}})^2 \quad (20)$$

onde:

$F(x,u)$ - função objetivo penalizada

S_j - fator de penalização

$x_j^{\text{MAX}}, x_j^{\text{MIN}}$ - limites máximos e mínimos das variáveis dependentes

OBSERVAÇÃO:

S_j deve ser nulo para os valores permitidos para as variáveis dependentes e diferente de zero, sempre que a variável dependente violar um dos limites.

3.3.4 - Algoritmo de Solução pelo Método Gradiente

As equações (15), (18) e (19), mostradas novamente a seguir, devem ser resolvidas iterativamente, em razão do caráter não-linear das mesmas.

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \lambda} \right] = \left[g(x, u, p) \right] = 0 \quad (15)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial x} \right] = \left[\frac{\partial F}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^T \cdot [\lambda] = 0 \quad (18)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial u} \right] = \left[\frac{\partial F}{\partial u} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u} \right]^T \cdot [\lambda] = 0 \quad (19)$$

O método denominado Gradiente o qual é usado no estudo, baseia-se em mudar de uma solução para outra de modo a diminuir o valor da função objetivo. A direção na qual se faz a mudança é dada pelo sentido contrário do gradiente da função no ponto.

A solução das equações de fluxo de potência (equação (15)) pelo método de Newton-Raphson fornece, também, a matriz Jacobiana do sistema no ponto de solução, a qual será utilizada na equação (18) para o cálculo dos multiplicadores de Lagrange.

Conforme demonstrado no artigo "Optimal Power Flow Solutions" (1) os termos correspondentes às derivadas da função de Lagrange em relação as variáveis de controle são os gradientes da função objetivo, quando as equações (15) e (18) estão satisfeitas.

Baseando-se nisso foi criado o algoritmo, para solução do problema através do método Gradiente, o qual é sumariamente descrito a seguir. O anexo I apresenta um fluxograma simplificado desse algoritmo.

1. Estimativa das variáveis de controle.
2. Determinação de uma solução possível (x, u) através do método de Newton-Raphson. A utilização desse método nos dá a matriz jacobiana no ponto de solução.
3. Solução da equação (18)

$$\begin{bmatrix} \lambda \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial x} \end{bmatrix}^{T-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (18a)$$

Chamamos atenção que se pode aplicar o método já usado na solução do sistema de equações lineares na determinação de $\begin{bmatrix} \Delta x \end{bmatrix}$

4. Determinação do vetor Gradiente $\begin{bmatrix} \nabla F \end{bmatrix}$ através da equação (19)

$$\begin{bmatrix} \nabla F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial u} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} \lambda \end{bmatrix} \quad (19a)$$

5. Se $\begin{bmatrix} \nabla F \end{bmatrix}$ for suficientemente pequeno, o mínimo é considerado encontrado.
6. Caso contrário um novo conjunto da variáveis de controle deve ser estipulado, de acordo com a expressão abaixo, voltando em seguida ao passo 2.

$$\begin{bmatrix} u^{\text{nov}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u^{\text{velho}} \end{bmatrix} - \alpha \begin{bmatrix} \nabla F \end{bmatrix} \quad (21)$$

O valor de α pode ser calculado através de um método matemático de segunda ordem, por exemplo, como também pode ser arbitrado com o risco de tornar o processo lento se for escolhido pequeno, ou implicar em oscilações em torno do mínimo, e até mesmo divergência, se for grande.

4.0 - APLICAÇÃO DO MÉTODO

O método foi aplicado para minimizar os custos de produção e as perdas de um sistema elétrico de potência.

4.1 - Definição da Função Objetivo

No caso de minimização dos custos de produção a função objetivo foi definida pelo somatório dos custos de produção das usinas, de acordo com a expressão (9), na qual a potencia de geração da barra de compensação foi incluída como:

$$PG_1 = P_1(V, \theta) + PD_1$$

onde:

PG_1 - potência ativa gerada na barra de compensação

$P_1(V, \theta)$ - potencia ativa da barra de compensação

PD_1 - potencia ativa demandada da barra de compensação

Dessa forma, a função objetivo fica:

$$f(x, u) = \sum_i^{NG} (KA_i + KB_i PG_i + KC_i PG_i^2) + KA_1 + KB_1 (P_1(V, \theta) + PD_1) + KC_1 (P_1(V, \theta) + PD_1)^2 \quad \text{para } i=2 \dots NG \quad (22)$$

sendo KA, KB e KC os coeficientes dos custos de produção das usinas.

Para a minimização das perdas do sistema foram consideradas duas funções objetivo:

$$a- f(x, u) = P_1(V, \theta) \quad (23)$$

$$b- f(x, u) = \sum_i PG_i + P_1(V, \theta) \quad \text{para } i=2 \dots NG \quad (24)$$

sendo PG_i a potencia de geração da barra "i"

A minimização das perdas do sistema no primeiro caso é conseguida com o controle de tensão das barras, enquanto

que o segundo caso leva em conta, também, a distribuição das potências de geração do sistema.

4.2 - Variáveis Consideradas

Relacionamos abaixo as variáveis consideradas no estudo.

4.2.1 - Variáveis de Controle

- Módulo das tensões nas barras de geração
- Módulo da tensão na barra de compensação
- Potência de geração disponível para o despacho no caso de minimização dos custos de produção e também de minimização das perdas do sistema (caso "b")

4.2.2 - Variáveis Dependentes

- Tensão nas barras de carga
- Ângulo de tensão nas barras de geração e carga
- Potência ativa e reativa na barra de compensação
- Potência reativa nas barras de geração
- Fluxo nas linhas de transmissão
- Custos das potências geradas
- Perdas

4.2.3 - Variáveis de perturbação

- Potência ativa e reativa nas barras de carga do sistema
- Comutadores fixos dos transformadores
- Coeficientes dos custos de produção
- Características dos elementos do sistema

4.3 - Restrições

4.3.1 - Restrições de Igualdade

Como restrições de igualdade foram consideradas as equações de fluxo de potência:

$$g_p(x, u, p) = P_k(V, \theta) - \text{PINJ}_k = 0 \quad (25)$$

$$g_q(x, u, p) = Q_k(V, \theta) - \text{QINJ}_k = 0 \quad (26)$$

Onde:

$$\text{PINJ}_k = \text{PG}_k - \text{PD}_k \quad (27)$$

$$\text{QINJ}_k = \text{QG}_k - \text{QD}_k \quad (28)$$

Sendo:

PG_k, QG_k - potência ativa e reativa gerada na barra K

PD_k, QD_k - potência ativa e reativa demandada da barra K

4.3.2 - Restrições de Desigualdade

As restrições de desigualdade consideradas para as variáveis de controle foram:

$$V_1^{\text{MIN}} \leq V_1 \leq V_1^{\text{MAX}} \quad - \text{ barra de compensação.}$$

$$V_i^{\text{MIN}} \leq V_i \leq V_i^{\text{MAX}} \quad - \text{ barras de geração}$$

$$\text{PG}_i^{\text{MIN}} \leq \text{PG}_i \leq \text{PG}_i^{\text{MAX}} \quad - \text{ potência da geração disponível para despacho.}$$

Além disso, também foram consideradas restrições de desigualdade para as seguintes variáveis dependentes:

$$V_j^{\text{MIN}} \leq V_j \leq V_j^{\text{MAX}} \quad - \text{ barras de carga}$$

$$PG_1^{\text{MIN}} \leq PG_1 \leq PG_1^{\text{MAX}} \quad - \text{ barra de compensação}$$

4.4 - Função Objetivo Penalizada

As restrições de desigualdade para as variáveis dependentes foram tratadas através de funções de penalização da forma:

$$W_j = S_j (x_j - x_j^{\text{MIN}})^2 \quad \text{se} \quad x_j < x_j^{\text{MIN}}$$

$$W_j = S_j (x_j - x_j^{\text{MAX}})^2 \quad \text{se} \quad x_j > x_j^{\text{MAX}}$$

Assim sendo a função objetivo definida pelas equações (22), (23) ou (24) fica:

$$F(x,u) = f(x,u) + SP_1 (PG_1 - PG_1^M)^2 + \sum_j SV_j (V_j - V_j^M)^2 \quad (29)$$

onde:

- SP_1 - fator de penalização da potência gerada na barra de compensação.
- SV_j - fator de penalização das tensões nas barras de carga.
- PG_1^M - potência de geração máxima ou mínima na barra de compensação.

- V_j^M - modulo da tensão máxima ou mínima nas barras de carga
 j - barras de carga

4.5 - Função de Lagrange e Condições Necessárias à MINIMIZAÇÃO

Dessa forma a função de Lagrange e as condições necessárias no mínimo ficam:

$$L(x, u, p) = f(x, u) + \sum W_j + [\lambda]^T \cdot [g(x, u, p)] + \\ + [\mu_{MAX}]^T \cdot ([u] - [u_{MAX}]) + [\mu_{MIN}]^T \cdot ([u_{MIN}] - [u]) \quad (30)$$

sujeito às equações de exclusão:

$$[\mu_{MAX}]^T \cdot ([u] - [u_{MAX}]) = 0 \quad (31)$$

$$[\mu_{MIN}]^T \cdot ([u_{MIN}] - [u]) = 0 \quad (32)$$

$$\mu_{MIN} \geq 0, \mu_{MAX} \geq 0$$

e

$$g(x, u, p) = 0 \quad (33)$$

$$[\lambda] = - \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^{T-1} \cdot \left[\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial x} \right] \quad (34)$$

$$[\nabla_{F_u}] = \left[\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial u} \right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u} \right]^T \cdot [\lambda] \quad (35)$$

sendo:

$$W_j = SP_1 (PG_1 - PG_1^M)^2 + \sum_j SV_j (V_j - V_j^M)^2$$

4.6 - Aplicação do Algoritmo de Solução do Método Gradiente

O anexo I mostra um diagrama esquemático do algoritmo do método Gradiente, conforme apresentado no item anterior. Esse método foi aplicado tanto para a minimização dos custos de produção como também para a minimização das perdas.

4.6.1 - Estimativa Inicial das Variáveis de Controle

A estimativa inicial para as variáveis de controle não apresenta dificuldade alguma, usando-se o mesmo procedimento empregado para um fluxo de potência. É aconselhável apenas que os valores estipulados atendam os limites estabelecidos.

4.6.2 - Solução das Equações de Fluxo de Potência

A solução das equações de fluxo de potência (33), pelo método de Newton-Raphson, nos dá o vetor das variáveis dependentes e a matriz jacobiana no ponto de solução a ser usada no cálculo dos multiplicadores de Lagrange.

O método, conforme já descrito, resume-se em obter a solução através de sucessivas aproximações para $[x]$, obtidas pela expressão (7).

$$[x^{h+1}] = [x^h] + [\Delta x] \quad (7)$$

em que $[\Delta x]$ é obtido pela solução do conjunto de equações lineares (8)

$$[\Delta x] = - \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} [g] \quad (8a)$$

onde:

$$[\Delta x] = \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \hline \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix}$$

Representa as correções que deverão ser feitas nos ângulos das barras dos sistemas (exceção à barra de compensação tomada como referência) e módulos das tensões das barras de carga.

$$\left[\frac{\partial g}{\partial x} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial \theta} & \frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial V_j} \cdot V_j \\ \hline \frac{\partial Q_k(V, \theta)}{\partial \theta} & \frac{\partial Q_k(V, \theta)}{\partial V_j} \cdot V_j \end{bmatrix}$$

Representa a matriz jacobiana do sistema.

$$[g] = \begin{bmatrix} \Delta P_k = P_{INJ_k} - P_k(V, \theta) \\ \Delta Q_k = Q_{INJ_k} - Q_k(V, \theta) \end{bmatrix}$$

Representa os resíduos das potências ativas e reativas das barras.

O processo termina quando os valores dos resíduos satisfazem a uma tolerância previamente estabelecida.

4.6.3 - Teste e Penalização das Variáveis Dependentes

O vetor das variáveis dependentes obtido pela solução das equações de fluxo de potência é testado com os limites estabelecidos.

Para cada uma das variáveis que ultrapasse esses limites é aplicada uma penalização da forma $S_j(x_j - x_j^M)^2$, em que foi mantido constante durante os cálculos.

4.6.4 - Cálculo dos Multiplicadores de Lagrange

Examinando a equação (34) vê-se que ela tem a mesma forma da (8a), o que permite aplicar o método já utilizado no cálculo de $[\Delta x]$.

Observa-se ainda que o termo $\left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^{T-1}$ é o inverso da matriz jacobiana transposta, já obtida na solução das equações de fluxo de potência.

O termo $\left[\frac{\partial f(x,u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum w_j}{\partial x} \right]$ é a derivada par

cial da função objetivo penalizada em rela
ção às variáveis dependentes.

Para o caso da função objetivo definida pe-
la equação (22) temos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum w_j}{\partial x} = & KB_1 \cdot \frac{P_1(V, \theta)}{\partial x} + \\ & + 2KC_1(P_1(V, \theta) + PD_1) \cdot \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial x} + \\ & + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M) \cdot \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial x} + \\ & + \frac{\partial \sum SV_j (V_j - V_j^M)^2}{\partial x} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial x} \text{ em evidencia nos dá:}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum w_j}{\partial x} = & \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial x} \cdot (KB_1 + \\ & + 2KC_1(P_1(V, \theta) + PD_1) + \\ & + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) + \\ & + \frac{\partial \sum SV_j (V_j - V_j^M)^2}{\partial x} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum w_j}{\partial x} = & \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial x} \cdot (KB_1 + 2KC_1PG_1 + \\ & + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) + \frac{\partial \sum SV_j (V_j - V_j^M)^2}{\partial x} \end{aligned}$$

Finalmente,

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial x} = \frac{\partial P_1(V,\theta)}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + \right. \\ \left. + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \right) + \\ + \sum \frac{\partial SV_j \cdot (V_j - V_j^M)^2}{\partial x} \end{aligned} \quad (36)$$

Para as variaveis dependentes V e θ temos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial V_j} V_j + \frac{\partial \sum W_j}{\partial V_j} V_j = \frac{\partial P_1(V,\theta)}{\partial V_j} V_j \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + \right. \\ \left. + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \right) + \\ + \sum 2SV_j \cdot (V_j - V_j^M) \cdot V_j \end{aligned} \quad (36a)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial \theta_m} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial \theta_m} = \frac{\partial P_1(V,\theta)}{\partial \theta_m} \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + \right. \\ \left. + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \right) \end{aligned} \quad (36b)$$

onde:

j - barras de carga

m - barras de carga e geração

Levando (36a) e (36b) na equação (34) temos:

$$[\lambda] = - \left[\begin{array}{c|c} \frac{\partial P_k(v, \theta)}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_k(v, \theta)}{\partial v_j} v_j \\ \hline \frac{\partial Q_k(v, \theta)}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_k(v, \theta)}{\partial v_j} v_j \end{array} \right]^{T-1}$$

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\partial P_1(v, \theta)}{\partial \theta_m} \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M) \right) \\ \hline \frac{P_1(v, \theta)}{\partial v_j} v_j \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M) \right) + \sum 2SV_j(v_j - v_j^M) \end{array} \right] \quad (37)$$

Para o caso em que a função objetivo seja definida pela equação (23) ou (24) temos:

$$\frac{\partial f(x, u)}{\partial v_j} v_j + \frac{\partial \sum W_j}{\partial v_j} v_j = \frac{\partial P_1(v, \theta)}{\partial v_j} v_j (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) + \sum 2SV_j(v_j - v_j^M) \cdot v_j \quad (38a)$$

$$\frac{\partial f(x, u)}{\partial \theta_m} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial \theta_m} = \frac{\partial P_1(v, \theta)}{\partial \theta_m} \cdot (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) \quad (38b)$$

Da mesma forma (38a) e (38b) em (34) tem-se:

$$[\lambda] = - \left[\begin{array}{c|c} \frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial V_j} V_j \\ \hline \frac{\partial Q_k(V, \theta)}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_k(V, \theta)}{\partial V_j} V_j \end{array} \right]^{T-1}$$

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial \theta_m} (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) \\ \hline \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_j} V_j (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) + \sum 2SV_j (V_j - V_j^M) V_j \end{array} \right] \quad (39)$$

OBSERVAÇÃO:

Uma importante observação que se deve fazer em relação aos multiplicadores de Lagrange, é que eles medem a sensibilidade da função objetivo com respeito à potência ativa e reativa, consumida ou gerada na barra, podendo ser usado para o estabelecimento de uma base tarifária para o sistema em estudo.

4.6.5 - Cálculo do Gradiente das Variáveis de Controle

Conforme já foi mostrado, as derivadas da função de Lagrange em relação às variáveis de controle escolhidas para estudo, resultam nos gradientes das respectivas variáveis.

Assim sendo o termo $\frac{\partial f(x,u)}{\partial u} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial u}$ é obtido através da derivada parcial da função objetivo em relação às variáveis de controle V_i e PG_i .

- Para o caso da função objetivo definida pela equação (22) (minimização dos custos de produção) temos:

a. Para a variável V_i

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial V_i} + \frac{\sum W_j}{V_i} = & \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} + \\ & + 2KC_1 \cdot (P_1(V, \theta) + PD_1) \cdot \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} + \\ & + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial V_i} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial V_i} = & \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + \right. \\ & \left. + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \right) \end{aligned}$$

finalmente, multiplicando ambos os termos por V_i temos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,u)}{\partial V_i} V_i + \frac{\partial \sum W_j}{V_i} V_i = & \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} V_i \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + \right. \\ & \left. + 2SP_1 \cdot (PG_1 - PG_1^M) \right) \quad (40) \end{aligned}$$

para $i = 1 \dots NG$

b. Para a variável PG_i

$$\frac{\partial f(x,u)}{\partial PG_i} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial PG_i} = \frac{\partial K_i PG_i}{\partial PG_i} \quad (41)$$

para $i = 2 \dots NG$

- Para a função objetivo definida pela equação (23) ($f = P_1(V, \theta)$) temos:

$$\frac{\partial f(x, u)}{\partial V_i} V_i + \frac{\partial \sum W_j}{\partial V_i} V_i = \frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} V_i \cdot (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) \quad (42)$$

para $i = 1 \dots NG$

- Para a função objetivo definida pela equação (24) ($f = \sum_i PG_i + P_1(V, \theta)$) temos:

a. Para a variável V_i

É a mesma expressão dada pela equação (42).

b. Para a variável PG_i temos:

$$\frac{\partial f(x, u)}{\partial PG_i} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial PG_i} = 1 \quad (43)$$

para $i = 2 \dots NG$

O termo $\left[\frac{\partial g}{\partial u} \right]^T$ é obtido através das derivadas parciais das equações de igualdade $g(x, u, p) = 0$ em relação às variáveis de controle.

Derivando as equações (25), (26), (27) e 28, mostradas novamente a seguir, em relação às variáveis de controle V_i e PG_i , temos:

$$g_p(x, u, p) = P_k(V, \theta) - \text{PINJ}_k = 0 \quad (25)$$

$$g_q(x, u, p) = Q_k(V, \theta) - \text{QINJ}_k = 0 \quad (26)$$

$$\text{PINJ}_k = \text{PG}_k - \text{PD}_k \quad (27)$$

$$\text{QINJ}_k = \text{QG}_k - \text{QD}_k \quad (28)$$

Assim

$$\frac{\partial g_p(x, u, p)}{\partial V_i} = \frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial V_i} \quad \text{para} \quad \begin{cases} i=1 \dots \text{NG} \\ k=1 \dots N \end{cases} \quad (44)$$

$$\frac{\partial g_q(x, u, p)}{\partial V_i} = \frac{\partial Q_j(V, \theta)}{\partial V_i} \quad \text{para} \quad \begin{cases} i=1 \dots \text{NG} \\ j\text{-barras de carga} \end{cases} \quad (45)$$

$$\frac{\partial g_p(x, u, p)}{\partial \text{PG}_i} = -1 \quad \text{para } k=i \quad (46)$$

$$\frac{\partial g_p(x, u, p)}{\partial \text{PG}_i} = 0 \quad \text{para } k \neq i \quad (47)$$

$$\frac{\partial g_q(x, u, p)}{\partial \text{PG}_i} = 0 \quad (48)$$

sendo:

i - barras de geração

j - barras de carga

k - representa uma barra qualquer do sistema

Finalmente o Gradiente das variáveis de controle pode ser obtido através das seguintes expressões:

- Para o caso de minimização dos custos de produção

$$\left[\nabla_{F_{V_j}} \right] = \left[\frac{\partial f(x,u)}{\partial V_i} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial V_i} \right] + \left[\frac{\partial g(x,u,p)}{\partial V_i} \right]^T \cdot [\lambda] \quad (49)$$

substituindo (40), (44) e (45) em (49), temos:

$$\left[\nabla_{F_{V_i}} \right] = \frac{1}{V_i} \cdot \left[\frac{\partial P_1(V,\theta)}{\partial V_i} V_i \cdot \left(\frac{\partial K_1 PG_1}{\partial PG_1} + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M) \right) \right] + \frac{1}{V_i} \cdot \left[\frac{\partial P_k(V,\theta)}{\partial V_i} V_i \mid \frac{\partial Q_j(V,\theta)}{\partial V_i} V_i \right] \cdot [\lambda] \quad (50)$$

$$\left[\nabla_{F_{PG_i}}^e \right] = \left[\frac{\partial f(x,u)}{\partial PG_i} + \frac{\partial \sum W_j}{\partial PG_i} \right] + \left[\frac{\partial g(x,u,p)}{\partial PG_i} \right]^T \cdot [\lambda] \quad (51)$$

substituindo (41), (46), (47) e (48) em (51), temos:

$$\left[\nabla_{F_{PG_i}} \right] = \left[\frac{\partial K_i PG_i}{\partial PG_i} \right] + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ & \vdots \\ & 0 \end{bmatrix} \cdot [\lambda] \quad (52)$$

sendo $[\lambda]$ obtido através da expressão (37)

- Para o caso de minimização das perdas do sistema, temos:

Substituindo (42), (44) e (46) em (49)

$$\left[\nabla_{F_{V_i}} \right] = \frac{1}{V_i} \cdot \left[\frac{\partial P_1(V, \theta)}{\partial V_i} V_i \cdot (1 + 2SP_1(PG_1 - PG_1^M)) \right] + \\ + \frac{1}{V_i} \cdot \left(\frac{\partial P_k(V, \theta)}{\partial V_i} V_i \cdot \frac{\partial Q_j(V, \theta)}{\partial V_i} V_i \right) [\lambda] \quad (53)$$

e substituindo (43), (46), (47) e (48) em (51)

$$\left[\nabla_{F_{PG_i}} \right] = \begin{bmatrix} 1 \\ \\ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ & \vdots \\ & 0 \end{bmatrix} \cdot [\lambda] \quad (54)$$

sendo $[\lambda]$ obtido através da expressão (39)

OBSERVAÇÃO:

Lembramos que as expressões (53) e (54) permitem a obtenção de gradientes das variáveis de controle V_i e PG_i para o caso da função objetivo definida por (24), enquanto que para função definida por (23) somente a expressão (53) é válida.

4.6.6 - Teste dos Gradientes das Variáveis de Controle

A cada iteração os gradientes das variáveis de controle, assim obtidos são testados com as tolerâncias estipuladas para cada um de les.

Quando todos os gradientes satisfazem essas tolerâncias, o ponto ótimo é considerado obtido e o processo terminado.

4.6.7 - Cálculo das Novas Variáveis de Controle

Se pelo menos um dos gradientes não passar no teste do passo anterior, novas variáveis de controle deverão ser especificadas para o novo ciclo.

Essas variáveis deverão ser aumentadas na direção contrária a dos gradientes, de modo que o ponto de solução a ser encontrado na nova iteração esteja mais próximo do mínimo. Assim, de acordo com a equação (21) temos:

$$\begin{bmatrix} V_i^{\text{novo}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i^{\text{velho}} \end{bmatrix} - \alpha_V \begin{bmatrix} \nabla F_{V_i} \end{bmatrix} \quad (55)$$

$$\begin{bmatrix} PG_i^{\text{novo}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PG_i^{\text{velho}} \end{bmatrix} - \alpha_{PG} \begin{bmatrix} \nabla F_{PG_i} \end{bmatrix} \quad (56)$$

onde:

α_V, α_{PG} - valores constantes e arbitrários
 ∇F_{V_i} - obtido pela expressão (50) ou (53)
 ∇F_{PG_i} - obtido pela expressão (52) ou (54)

4.6.8 - Teste das Novas Variáveis de Controle

Se para alguma variável de controle a correção efetuada no passo anterior, implicar na violação de um dos limites estipulados, então a variável é ajustada ao limite correspondente.

Assim temos:

$$\begin{aligned}
 V_i^{\text{nov}} &= \begin{cases} V_i^{\text{MAX}} & \text{se } V_i^{\text{velho}} - \alpha_V \cdot \nabla F_{V_i} > V_i^{\text{MAX}} \\ V_i^{\text{MIN}} & \text{se } V_i^{\text{velho}} - \alpha_V \cdot \nabla F_{V_i} < V_i^{\text{MIN}} \\ V_i^{\text{velho}} - \alpha_V \cdot \nabla F_{V_i} & \text{caso contrario} \end{cases} \\
 PG_i^{\text{nov}} &= \begin{cases} PG_i^{\text{MAX}} & \text{se } PG_i^{\text{velho}} - \alpha_{PG} \cdot \nabla F_{PG_i} > PG_i^{\text{MAX}} \\ PG_i^{\text{MIN}} & \text{se } PG_i^{\text{velho}} - \alpha_{PG} \cdot \nabla F_{PG_i} < PG_i^{\text{MIN}} \\ PG_i^{\text{velho}} - \alpha_{PG} \cdot \nabla F_{PG_i} & \text{caso contrario} \end{cases}
 \end{aligned}$$

OBSERVAÇÃO:

Os gradientes diferentes de zero obtidos pa

ra as variáveis de controle em seus limites, expressam a sensibilidade da função objetivo com respeito a esses limites, e, consequentemente, o preço pago por respeitá-los.

5.1 - Características Principais do Programa

O programa atual tem a capacidade de resolver os problemas de otimização de até 20 variáveis, podendo ser usado para resolver os fluxos de potência complexos em sistemas de energia com opção para impressão dos resultados do fluxo e caso ciclo.

Pode ser utilizado para minimização das perdas de um sistema elétrico e, também, dos custos de geração, controlando as tensões das barras de geração e compensação e/ou as potências das fontes disponíveis para o despacho econômico.

O programa pode ser facilmente ampliado para as variáveis de controle e limites outras funções objetivo, bem como para a solução de sistemas maiores de barras utilizadas as técnicas de empacotamento.

5.2 - Estrutura do Programa

O programa é composto de programa principal e de 11

5.0 - PROGRAMAÇÃO DIGITAL

Baseando-se no método apresentado e na aplicação descrita no item 4.0, foi elaborado um programa em linguagem Fortran IV, processado em um computador HP-2000.

Foi utilizada a estrutura de entrada e saída de dados de um programa de fluxo de potência elaborado por H.KRUEMPEL.

5.1 - Características Principais do Programa

- O programa atual tem a capacidade de resolver um sistema de até 20 barras, podendo ser usado para resolver um fluxo de potência simples ou então o otimizado com opção para impressão dos resultados do fluxo, a cada ciclo.
- Pode ser utilizado para minimização das perdas de um sistema elétrico e, também, dos custos de produção, controlando as tensões das barras de geração e compensação e/ou as potências das usinas disponíveis para o despacho econômico.
- O programa pode ser facilmente ampliado para novas variáveis de controle e também outras funções objetivo, bem como para a solução de sistemas maiores se forem utilizadas as técnicas de esparsidade.

5.2 - Estrutura do Programa

O programa é composto do programa principal e de 11

subrotinas (a listagem de computador está mostrada no anexo II).

Foi incluído no programa principal o controle de reativo do fluxo de potência, o cálculo das novas variáveis de controle do fluxo ótimo e, também, o controle da sequência de cálculos processados pelas subrotinas.

A seguir é apresentada uma descrição sumária das principais funções de cada uma dessas subrotinas.

- SUBROTINA MATRY

Lê e imprime os dados de entrada do fluxo de potência e calcula a matriz Y_{BARRA} do sistema. A impressão dessa matriz é opcional.

- SUBROTINA RESUL

Calcula os fluxos de potência ativa e reativa nas linhas do sistema após os cálculos das tensões nas barras, e imprime os resultados desses fluxos.

- SUBROTINA JACOB

Calcula a matriz jacobiana do sistema na forma de equações polares.

- SUBROTINA IMJAC

Esta subrotina é usada, opcionalmente, para a impressão da matriz jacobiana e dos resíduos de potência ativa e reativa das barras, à cada itera-

ção do fluxo.

- SUBROTINA REJAC

Calcula as correções dos módulos das tensões e ângulos nas barras do sistema através do processo de Gauss-Jordan com compensação pivotal.

Além disso, rearranja a matriz jacobiana de modo a eliminar os termos nulos da diagonal principal dessa matriz, que aparecem devido às derivadas parciais das potências reativas, das barras de tensão controlada, em relação às tensões dessas barras.

- SUBROTINA NOVOV

São calculados os módulos das tensões e ângulos nas barras a partir das correções obtidas na subrotina REJAC.

- SUBROTINA DFLOT

Lê e imprime os dados necessários para o processo de otimização.

- SUBROTINA DFDX

Subrotina destinada para o cálculo das derivadas parciais da função objetivo em relação às variáveis dependentes, e, também, da aplicação das penalizações quando necessário.

- SUBROTINA TRJAC

Subrotina para a transposição da matriz jacobi na.

- SUBROTINA GRDV

Calcula o gradiente das tensões nas barras de ge ração e compensação.

- SUBROTINA GRPG

Calcula o gradiente das potências de geração dis poníveis para o despacho econômico.

OBSERVAÇÃO:

Para os resíduos de potência reativa das barras a serem corrigidas, é utilizada uma função de amorte cimento, caso seja detetada uma oscilação em torno dos limites de reativo.

5.3 - PROCESSAMENTO DE DADOS

A entrada, o processamento e a saída dos dados es tão sumariamente, descritos a seguir.

5.3.1 - Entrada de Dados

São fornecidos ao programa os seguintes da dos:

- Parâmetros do sistema.

- Dados das cargas.
- Tolerâncias das potências ativa e reativa das barras.
- Limites máximos e mínimos das tensões e potências de geração.
- ⇒ - Coeficientes das funções de custo das usinas.
- Fatores de penalização de tensão e potência.
- Tolerância para os gradientes de tensão e potência.
- Fatores de correção das variáveis de controle (tensão e potência).
- Número máximo de iterações permitidas tanto para o fluxo de potência como para os ciclos de otimização.
- Número de barras do sistema.

Além desses dados são fornecidos também as opções para o processamento de um fluxo simples ou otimizado, podendo, neste caso, optar para a minimização de perdas do sistema ou então dos custos de produção das usinas. O programa permite, ainda, a escolha das variáveis de controle que se deseja trabalhar na otimização, V e/ou P.

5.3.2 - Processamento de Dados

A lógica do programa pode ser mais facilmente analisada através do fluxograma simplificado, mostrado no anexo III.

Salientamos que o programa pode ser melhora

do pela introdução das técnicas de esparsidade, que vai permitir o aumento da capacidade do programa em resolver sistemas maiores (da ordem de 500 barras para o computador HP-2000).

Além disso, poder-se-á tirar proveito de algumas características particulares do método, evitando-se o cálculo da matriz jacobiana em todas iterações.

5.3.3 - Saída de Dados

O programa imprime os dados de entrada do fluxo de potência e também do fluxo ótimo, a medida que vão sendo lidos.

Quando se trabalha com a opção de fluxo de potência o programa encerra com a impressão dos resultados desse fluxo, tendo sido atingida ou não a convergência.

No caso de otimização também são impressos a cada ciclo os multiplicadores de Lagrange, os gradientes das variáveis de controle e as novas variáveis a serem utilizadas no próximo passo. O programa permite a impressão nestes ciclos, dos resultados do fluxo de potência se o usuário assim o desejar.

Quando se trabalha com a minimização dos custos de produção o valor da função objetivo é expresso em unidades monetárias(\$) enquanto que para a minimização das perdas o

valor é expresso em (MW). Evidentemente os multiplicadores de Lagrange e os gradientes das variáveis de controle são expressos de acordo com a função objetivo utilizada.

6.0 - EXEMPLOS ANALISADOS

Os casos examinados tem por finalidade analisar e discutir os diferentes aspectos do método apresentado. Para isso foram preparados vários casos nos quais foram utilizadas as configurações dos sistemas mostrados no anexo IV, e o programa descrito anteriormente.

6.1 - Minimização dos Custos de Produção

A tabela do anexo V apresenta os casos analisados e os principais resultados obtidos, na minimização dos custos de produção.

A título de ilustração a saída completa do caso 4 está mostrada no anexo VI.

Pôde ser verificado, que o método funciona satisfatoriamente e que o ponto mínimo da função objetivo é atingido nas 5 à 8 primeiras iterações.

O caso 7 foi processado com um fator de correção α_v maior que o usado no caso 5, o que resultou em oscilações em torno do mínimo, principalmente, nos primeiros ciclos de otimização. Já o caso 8 foi testado com um fator de correção α_{pg} menor, resultando numa melhor convergência. Desse modo, pode-se ver que o sucesso do método depende da escolha dos fatores de correção, o que nos permite concluir que o algoritmo só é vantajosamente usado se apresentar um processo automático para o cálculo desses fatores.

Nesses casos foi verificado que a variável de controle PG_i tem melhor efeito que V_i , pois se trata de problema de minimização de custos de produção, o qual é mais sensível ao despacho econômico.

Os resultados obtidos para os casos 1, 3, 6 e 8 foram ainda comparados e conferidos com os resultados apresentados pelos artigos de Rashed-Kelly (6) e Sasson, Viloria, Aboytes (5) nos quais são usados os mesmos exemplos. Isso veio mostrar a validade e aplicabilidade do método empregado.

6.2 - Minimização das Perdas

Os casos e os resultados obtidos para a minimização de perdas estão mostrados na tabela do anexo VII.

A saída completa do caso 12 está mostrada no anexo VIII.

Foi verificado, também, que o método funciona satisfatoriamente para a minimização das perdas do sistema, obtendo-se o mínimo da função objetivo nas 5 à 8 primeiras iterações.

Nesse caso tanto a variável de controle tensão, como potência de geração, são significativas na minimização das perdas do sistema.

Também, nestes casos, foi verificado que o método depende dos fatores de correção, tendo sido observado através dos casos 13 e 15 que as oscilações em

torno do mínimo, ocasionados pelas oscilações das variáveis de controle, pôde ser resolvida com a diminuição do fator de correção α_v .

A diminuição das perdas (em torno de 50%) na primeira iteração, constatada para os casos 12 e 14, foi devido ao despacho de uma fonte de geração, que havia sido "zerada" nos dados de entrada do fluxo de potência.

Os resultados obtidos para o caso 9, foram, também, comparados com os resultados apresentado pelo artigo de Rashed-Kelly (6) o que mostrou, novamente, a aplicabilidade do método.

6.3 - Casos Testes para a Função de Penalização da Potência Gerada na Barra de Compensação

A tabela do anexo IX mostra os resultados dos casos 16 à 23 nos quais foi analisada a funcionabilidade do método de penalização da função objetivo, quando se deseja limitar a potência a ser gerada na barra de compensação.

O caso 16 mostra a potência gerada na barra de compensação (51.4 MW) para os limites estabelecidos de 80 e 30(MW) . Quando o limite mínimo (P_G^{MIN}) foi elevado para 60, casos 17 e 18, a potência obtida passou para 59.5 e 59.0, respectivamente. O caso 17 apresentou uma pequena oscilação (amortecida) o que não aconteceu com o caso 18, em que foi utilizado um fator de penalização menor. Os resultados obtidos para os casos processados para o sistema de 5

barras (19 à 23) levaram as mesmas observações.

Chamamos atenção para a divergência do caso 21, ocasionada pela utilização de um fator de penalização maior.

Desse modo, pode ser concluído que o método funciona desde que o fator de penalização seja convenientemente escolhido.

6.4 - Casos Testes para a Função de Penalização das Tensões das Barras de Carga

A tabela do anexo X mostra os resultados dos casos nos quais foram analisadas as funções de penalização para as tensões das barras de carga.

Foi convenientemente escolhido um sistema de 3 barras, com 1 barra de carga, para facilidade de apresentação.

Foi verificado, através de testes, que o método de penalização para as tensões das barras de carga funciona para qualquer sistema.

A desvantagem do método, de acordo com o que foi visto para o caso anterior, é que se deve ter um certo cuidado com a escolha dos fatores de penalização. Entretanto, os casos 25 e 26 processados com fatores de penalização 1000 e 2000 resultaram nas tensões de 1.011 e 1.006, respectivamente, o que veio mostrar que o método é mais fácil de ser aplicado para tensões do que para potência de geração da barra de compensação, quando não se deseja uma

precisão muito grande nos resultados.

O caso 29 processado com um fator de penalização i gual a 10000 mostrou que o processo diverge para um fator muito grande, enquanto que o caso 27 veio mos

Os resultados dos casos 24, 26 e 27 foram represen tados em um gráfico, mostrado no anexo XI. As curvas representam os níveis de perdas do sistema com relação às tensões da barra de compensação V_1 e de geração V_2 . As linhas (cheia, traço-traço e tra ço-ponto) representam os caminhamentos, nos três casos, das soluções em direção ao ponto de perdas mⁱnimas do sistema. Esse gráfico permitiu-nos as se guintes observações:

- O processo depende dos fatores de correção α , is to é, a escolha incorreta pode gerar oscilação em torno do mínimo ou então a lentidão do processo.
- A solução caminha em direção contrária dos gradi entes.
- Os caminhamentos obtidos para os três casos, apre sentaram direções diferentes no início do proces so, em razão dos diferentes fatores da penaliza ção. Observa-se, entretanto, que a partir do pon to B as soluções dos casos 24 e 27 caminham na mesma direção, o mesmo acontecendo para o caso 26 a partir de A, quando a tensão da barra de carga já não mais viola o limite inferior.

Os pontos A, B e O indicam os pontos de solução dos três casos 26, 27 e 24, respectivamente. Para o ponto A a tensão da barra V_3 ficou em 1.006 (PU) enquanto que em B obtivemos 1.057 (PU), o que veio mostrar a influência do valor de penalização no resultado final.

7.0 - COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma visão prática do problema de fluxo de potência ótimo, com a minimização dos custos de produção e das perdas de um sistema elétrico de potência.

O método utilizado permitiu a solução completa e exata do problema, em que as restrições das variáveis dependentes foram consideradas através de funções de penalização.

Do ponto de vista de aplicação o método é bastante atrativo, pois permite a definição de outras funções de otimização, inclusive com restrições de segurança, e também, a utilização de outras variáveis de controle, como por exemplo, comutadores sob carga de transformadores.

Além disso, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios quanto à precisão e também ao reduzido número de iterações necessárias.

De acordo com o artigo de TINNEY-DOMMEL referência (1) pode ser dado as seguintes interpretações aos multiplicadores de Lagrange, e aos componentes dos gradientes diferentes de zero no ponto de mínimo:

Os multiplicadores de Lagrange medem a sensibilidade da função objetivo com respeito ao consumo ou a geração de cada barra do sistema.

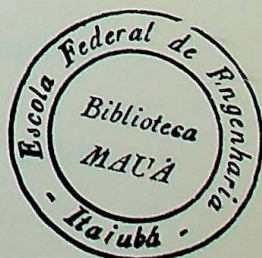
Os componentes dos gradientes diferentes de zero das variáveis de controle, em seus limites, medem a sensibilidade da função objetivo com respeito a esses limites.

Assim sendo, esses fatores podem ser úteis em estudos de tarifas, como também, na definição das características dos elementos de um sistema de potência.

O programa digital apresentado pode ser melhorado com a utilização das técnicas de esparsidade, que vão permitir a ampliação de sua capacidade em resolver sistemas maiores (500 barras - HP-2000) e com tempos de processamento bastante reduzido.

Alem disso, deverá ser usado um processo adequado para o cálculo dos fatores de correção das variáveis de controle, e, também, para a aplicação das funções de penalização, de modo que se permita a variação dos fatores de penalização durante o processamento.

A implementação do método é simplificada quando se dispõe de um programa de fluxo de potência resolvido pelo processo de Newton-Raphson.



8.0 - REFERÊNCIAS

1. W.F.TINNEY, H.W.DOMMEL
"Optimal Power Flow Solutions"
IEEE - TRANS - PAS - OUTUBRO 1968 - página 1866.
2. W.F.TINNEY, C.E.HART
"Power Flow Solution by Newton's Method"
IEEE - TRANS - PAS - NOVEMBRO 1967 - página 1449.
3. A.M.SASSON, F.ABOYTES, R.CARDENAS, F.GOMEZ, F.
VILORIA
"A comparison of Power Systems Static Optimization
Techniques"
Apresentado no PICA - CONFERENCE, MAIO - 1971 -
BOSTON.
4. A.M.SASSON
"Non-linear programming solutions for the load
flow, minimum loss and economic dispatching
problems"
IEEE - TRANS - PAS - ABRIL 1969 - página 399.
5. A.M.SASSON, F.VILORIA, F.ABOYTES
"Optimal Load Flow Solution Using the Hessian
Matrix".
Apresentado no PICA - CONFERENCE - MAIO - 1971 -
BOSTON.
6. A.M.RASHED, D.H.KELLY
"Optimal Load Flow Solution Using Lagrangian
Multipliers and the Hessian Matrix"
IEEE - TRANS - PAS - SETEMBRO/OUTUBRO - 1974 -
página 1292.

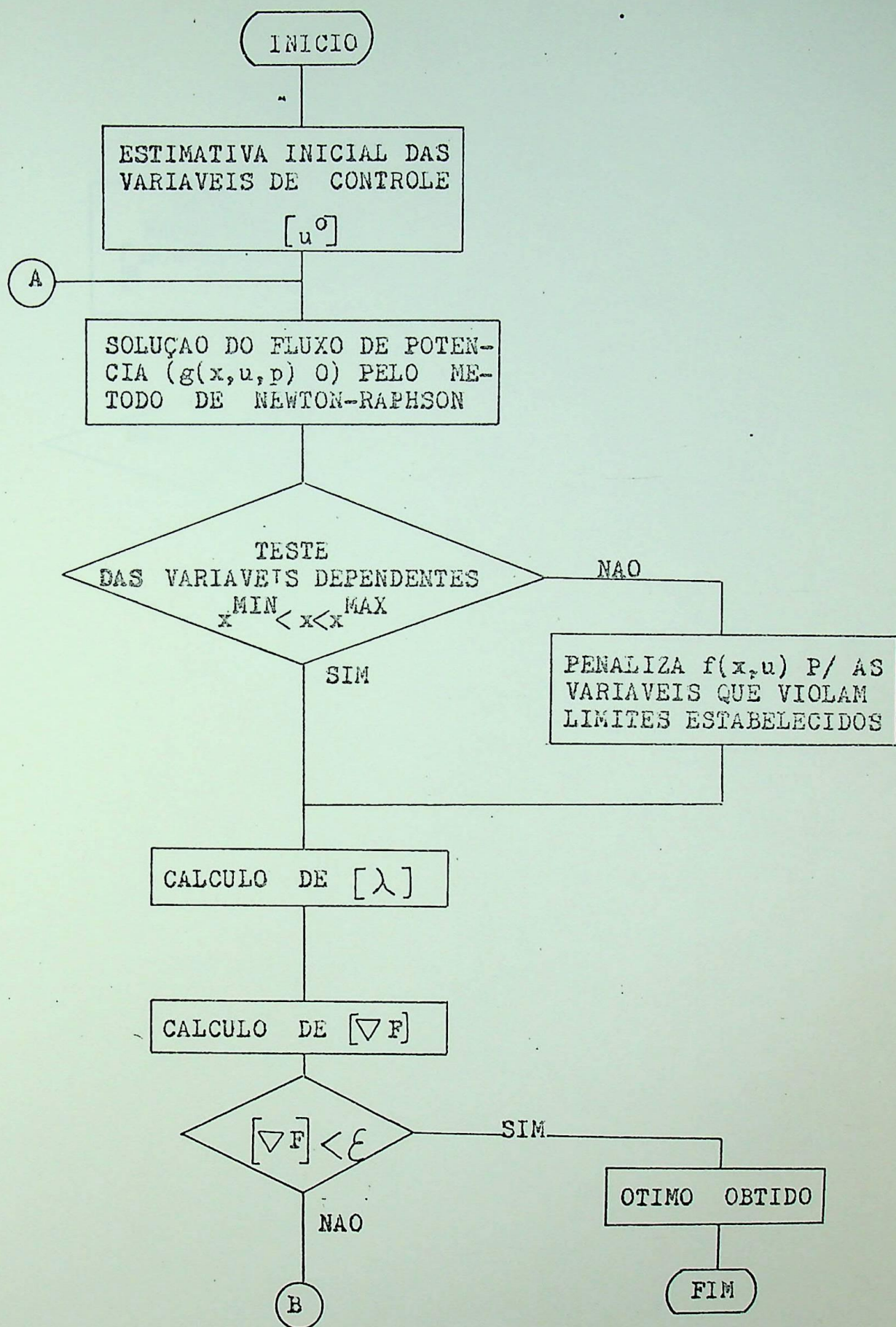
- ~~X~~
7. H.H.HAPP
"Optimal Power Dispatch - A Comprehensive Survey"
IEEE - TRANS - PAS - MAIO/JUNHO - 1977.
 8. J.PESCHON, O.S.PIERCY, W.F.TINNEY, O.D.TVEIT, M.
CUENOD
"Optimum Control of Reactive Power Flow"
IEEE - TRANS - PAS - JANEIRO - 1968.
 9. A.H.EL-ABIAD, F.J.JAIMES
"A Method For Optimum Scheduling of Power And
Voltage Magnitude"
IEEE - TRANS - PAS - ABRIL - 1969
 10. G.DAUPHIN, D.FEINGOLD, G.SPOHN
"Methods of Optimizing The Production Of
Generating Stations Of A Power Network"
Apresentado no PICA - CONFERENCE - 1967 -
PITTSBURGH.
 11. J.F.DOPAZO, O.A.KLITIN, G.W.STAGG, M.WATSON
"An Optimization Technique For Real And Reactive
Power Allocation"
IEEE - PROC - NOVEMBRO - 1967.
 12. J.CARPENTIER
"Contribution to The Economic Dispatch Problem"
Bull - Soc. Franc - Eletriciens - AGOSTO - 1962.
 13. L.L.FRERIS, A.M.SASSON
"Investigation of The Load Flow Problem"
IEE - PROC. - OUTUBRO - 1968.

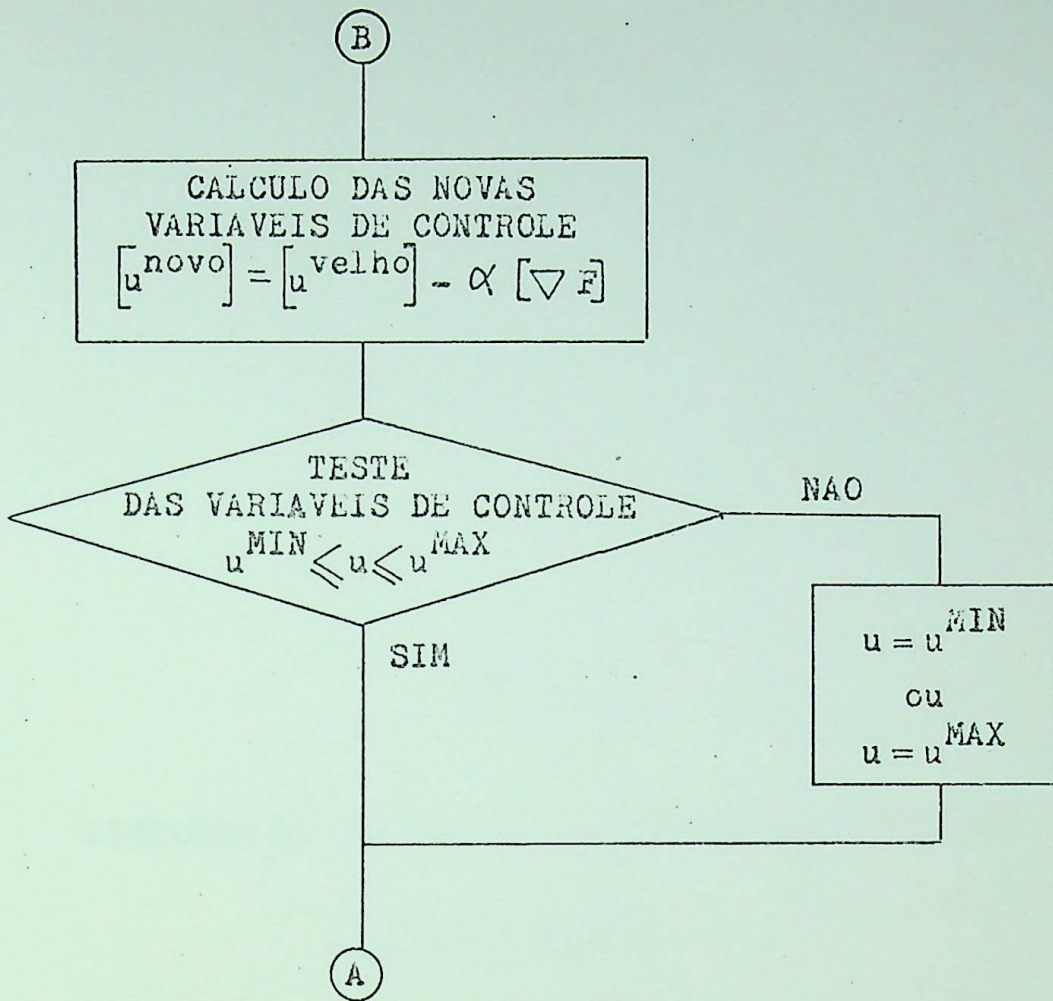
14. R.BILLINTON, S.S.SACHEDEVA
"Real and Reactive Power Optimization by
Suboptimum techniques"
IEEE - TRANS - PAS - MAIO/JUNHO - 1973.
15. A.M.SASSON, H.M.MERRILL
"Some Applications of Optimization Techniques
to Power Systems Problems"
IEEE - PROC. - VOL.62, Nº 7, 1974.
16. J.B.WARD, H.W.HALE
"Digital Computer Solution of Power Flow Problems"
IEEE - TRANS - PAS - JUNHO - 1956.
17. R.L.SULLIVAN
"Power System Planning"
Mc-Graw - Hill - 1977.
18. S.S.SACHEDEVA
"Otimização da Operação de Sistemas"
Universidade Federal da Paraíba - Escola Poli-
técnica - Campina Grande.
19. H.E.BROWN
"Solutions of Large Networks by Matrix Methods"
John Wiley & Sons, Inc. 1975.
20. O.I.ELGERD
"Electric Energy Systems Theory: An Introduction"
Mc-Graw - Hill - 1971

21. S.W.STAGG, A.H. EL-ABIAD
"Computer Methods in Power System Analysis"
New York, Mc-Graw - Hill, 1968.
22. L.K.KIRCHMAYER
"Economic Operation of Power Systems"
John Wiley & Sons, INC - 1958.
23. N.PISKUNOV
"Differential And Integral Calculus"
Mir Publishers - Moscow.
24. W.F.B'RELLS, N.D.REPPEN, R.J.RINGLEE, J.M.UNDRILL
"Scheduling and Economic Operations"
PTI - Course Notes - JUNHO - 1974.
25. W.D.STEVENSON
"Elements of Power System Analysis
Mc-Graw - Hill - 1962.
26. G.R.WALSH
"Methods of Optimization"
John Wiley & Sons - 1975.
27. A.O.CONVERSE
"Optimization"
Holt, Rinehart And Winston, INC - 1970.
28. F.A.M.MACHADO
"Fluxo de Carga Otimizado- Um Modelo utilizando
Programação Geométrica"
Estudo Interno OT/ES-002

ANEXO I

ALGORITIMO DE SOLUÇÃO DO METODO GRADIENTE





ANEXO II

LISTAGEM DE COMPUTADOR DO PROGRAMA DIGITAL EM

LINGUAGEM FORTRAM IV


```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM NEWFL
0003 C PROGRAMA-FPJ-MARCELO L. CORREA PO/ES4 CB-801
0004 C DIMENSIONAMENTO DAS MATRIZES E VETORES
0005 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)-
0006 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0007 COMMON RPI(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0008 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PG4X(20),PGMN(20),VX(20),VN(20)
0009 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0010 -COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0011 COMMON TOR,TOT,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0012 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0013 C CODICOS DAS LEITORAS E IMPRESSORAS HP E IBM
0014 LE=5
0015 LE=7
0016 IMPR=6
0017 C LE NUMERO DE CASOS E CODICOS P/ IMPRESSAO DO JACOBIANO E MATRIZ Y
0018 READ(LE,900) NCAS,JAC,MY
0019 C
0020 C NCAS = NUMERO DE CASOS
0021 C JAC=1 IMPRIME JACOBIANO
0022 C JAC=0 NAO IMPRIME JACOBIANO
0023 C MY=1 IMPRIME MATRIZ Y
0024 C MY=0 NAO IMPRIME MATRIZ Y
0025 C
0026 900 FORMAT(3I2)
0027 DO 55 NASE=1,NCAS
0028 READ(LE,5000)(IFPOT(I),I=1,10),(VARV(I),I=1,6)
0029 5000 FORMAT(10I2,6F10.5)
0030 CALL MATRY
0031 IF(IFPOT(1).EQ.1) GO TO 5001
0032 GO TO 700
0033 5001 KV=0
0034 IFM=0
0035 CALL OFLOT
0036 C SELECAO DAS VARIAVEIS DE CONTROLE
0037 C TESTES DAS VARIAVEIS DE CONTROLE
0038 C CALCULO DOS DELTAS DE P,Q
0039 700 NV = 0
0040 DO 5199 I=1,NA
0041 5199 KF(I)=0
0042 50 CONTINUE
0043 N=2*NA
0044 DO 436 I=1,N
0045 DO 436 J=1,N
0046 EJ(I,J)=0.
0047 DO 5200 I=1,NA
0048 5200 KC(I)=0
0049 -K=1
0050 L=2
0051 C5 ACR,ACI E AVR = MISMATCHES DE POT ATIVA,POT REAT E TENSAO RESPECT.
0052 ACR=0.
0053 ACI=0.
0054 AVR=0.

```

1390
1400


```

0057 C
0058 C3
0059 C4
0060 C
0061 C
0062 C
0063 C
0064 C
0065 C
0066 C
0067 C
0068 C
0069 C
0070 C
0071 C
0072 C
0073 C
0074 C
0075 C
0076 C
0077 C
0078 C
0079 C
0080 C
0081 C
0082 C
0083 C
0084 C
0085 C
0086 C
0087 C
0088 C
0089 C
0090 C
0091 C
0092 C
0093 C
0094 C
0095 C
0096 C
0097 C
0098 C
0099 C
0100 C
0101 C
0102 C
0103 C
0104 C
0105 C
0106 C
0107 C
0108 C
0109 C
0110 C

AM=CM = PARTE REAL DA CORRENTE DE BARRA
BM=DM = PARTE IMAGINARIA DA CORRENTE DE BARRA

2 AM=0.
BM=0.
CALCULO DAS CORRENTES DE BARRA
DO 4 J=1, NA
AM=E(J,K)*G(I,J)+E(J,L)*B(I,J)+AM
BM=E(J,K)*G(I,J)-E(J,L)*B(I,J)+BM
4 BM=E(J,L)*G(I,J)-E(J,K)*B(I,J)+BM
CALCULO DAS POTENCIAS DAS BARRAS
PA(I,K)=E(I,K)*AM+E(I,L)*BM
PA(I,L)=E(I,L)*AM-E(I,K)*BM
6 N=I+NA-2
J=2*NA-1
M=I-1
CALCULO DOS DELTAS P, Q DAS BARRAS DE CARGA
EJ(M,J)=P(I,K)-PA(I,K)
DIR=ABS(EJ(M,J))
IF(DIF.GT.ACR) ACR=DIF
IF(KT(I).EQ.0) GO TO 419
GO TO 424
419 EJ(N,J)=P(I,L)-PA(I,L)
421 DIA=ABS(EJ(N,J))
IF(DIA.GT.ACI) ACI=DIA
GO TO 5
420 EJ(N,J)=0.
KC(I)=0
AM=VE(I)-SORT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
DIR=ABS(AM)
IF(DIR.GT.AVR) AVR=DIR
GO TO 5
424 IF(PA(I,L)-RPM(I))422,422,423
422 IF(PA(I,L)-RPI(I))425,420,420
425 CONTINUE
IF(KF(I).LT.4) GO TO 440
FA=(FLOAT(NV)/20.)*0.5
IF(FA.GT.1.) GO TO 440
EJ(N,J)=(RPI(I)-PA(I,L))*FA
KC(I)=2
GO TO 421
440 EJ(N,J)=RPI(I)-PA(I,L)
KC(I)=2
GO TO 421
423 CONTINUE
IF(KF(I).LT.4) GO TO 441
PA=(FLOAT(NV)/20.)*0.5
IF(PA.GT.1.) GO TO 441
EJ(N,J)=(RPM(I)-PA(I,L))*FA
KC(I)=1
GO TO 421
441 (EJ(N,J)=RPM(I)-PA(I,L)
KC(I)=1
GO TO 421

```

C 1310
C 1320
C 1330

C 1440
C 1450
C 1460

C 1830


```

0113 IF(JAC.EQ.1)WRITE(IMPR,2000)ACR,ACI,AVR
0114 2000 FORMAT(//,50X,5HACR = ,E13.6,/,50X,6HACI = ,E13.6,/,50X,6HAVR = ,
0115 *E13.6)
0116 IF(ACR-TOX)12,12,181
0117 12 IF(ACI-TOI)14,14,181
0118 14 IF(AVR-TOV)180,180,181
0119 180 IF(KV.EQ.0) GO TO 5107
0120 IF(IFPOT(5).EQ.1) GO TO 5107
0121 GO TO 5115
0122 5107 WRITE(IMPR,1011) H
0123 5115 CALL RESUL
0124 IF(IFM.EQ.1) GO TO 55
0125 5106 IF(IFPOT(1).EQ.0) GO TO 55
0126 GO TO 5002
0127 181 IF(NV-IFPOT(9))13,705,705
0128 705 WRITE(IMPR,1011)
0129 WRITE(IMPR,799)
0130 799 FORMAT(4X,52+***CASO NAO CONVERGE PARA O NUMERO DE ITERACOES DADO)
0131 IFPOT(5)=1
0132 CALL RESUL
0133 GO TO 55
0134 13 CONTINUE
0135 CALL JACOB
0136 NV=NV+1
0137 CALL IMJAC
0138 CALL REJAC
0139 IF(1S.EQ.1000) GO TO 55
0140 CALL NOVON
0141 GO TO 50
0142 5002 PG(1)=P(1,1)+PC(1)
0143 CALL DFCX
0144 CALL JACOB
0145 CALL TRJAC
0146 CALL REJAC
0147 IF(1S.EQ.1000) GO TO 55
0148 IF(KV.EQ.0)WRITE(IMPR,1011)
0149 IF(KV.EQ.1)POT(10) GO TO 55
0150 AM=VARV(6)
0151 IF(IFPOT(2).EQ.1)GO TO 5051
0152 AM=0.
0153 DO 5021 I=1,NA
0154 5021 AM=AM+CA(I)+C3(I)+PG(I)+CC(I)*(PG(I)*2)
0155 GO TO 5250
0156 5051 WRITE(IMPR,100)KV,AM
0157 5100 FORMAT(//,9X,10HITERACAO =,12X,I2,/,9X,17HFUNCACAO 23JF IVO =,
0158 *F13.3,5H (MM),/,9X,5HABARRA,9X,4HNOVE,10X,8H LAMBDA 1 2,6X,8H LAMBDA 2
0159 * ,7X,11HGRADIENTE V,6X,11HGRADIENTE P,9X,6HNOVO V,7X,6HNOVO P,/,
0160 *37X,7HMM/PUMM,7X,9HMM/PUMMA,8X,6HMM/PUMV,11X,7HMM/PUMW,13X,2HPU,
0161 *10X,2HMM,/)
0162 GO TO 5260
0163 5250 WRITE(IMPR,5270)KV,AM
0164 5270 FORMAT(//,9X,10HITERACAO =,12X,I2,/,9X,17HFUNCACAO 23JF IVO =,
0165 *F13.3,5H (S),/,9X,5HABARRA,9X,4HNOVE,10X,8H LAMBDA 1 2,6X,8H LAMBDA 2
0166 * ,7X,11HGRADIENTE V,6X,11HGRADIENTE P,9X,6HNOVO V,7X,6HNOVO P,/,

```



```

0169 0200 A1=0.
0170 BM=0.
0171 IF(IFPOT(3).EQ.0)GO TO 5013
0172 CALL GRDV
0173 AM=ABS(RM(1))
0174 DO 5005 I=2,NA
0175 IF(ABS(RM(I)).LT.AM)GO TO 5005
0176 AM=ABS(RM(I))
0177 CONTINUE
0178 IF(AM.LE.VARV(1))GO TO 5013
0179 DO 5006 I=1,NA
0180 SA(I)=RM(I)
0181 IF(KT(I).LE.0.AND.I.NE.IS) GO TO 5003
0182 ANG=ATAN(E(I,L)/E(I,K))
0183 RM(I)=SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)+VARV(2)*RM(I)
0184 IF(RM(I).LT.VV(I))RM(I)=VV(I)
0185 IF(RM(I).GT.VX(I))RM(I)=VX(I)
0186 IF(I.GT.1) GO TO 5007
0187 E(I,K)=RM(I)
0188 GO TO 5006
0189 5007 E(I,K)=RM(I)*COS(ANG)
0190 E(I,L)=RM(I)*SIN(ANG)
0191 VE(I)=RM(I)
0192 GO TO 5005
0193 5003 RM(I)=SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0194 5006 CONTINUE
0195 5013 IF(IFPOT(4).EQ.1)GO TO 5324
0196 DO 5325 I=1,NA
0197 5325 A(I)=0.
0198 GO TO 5025
0199 5324 CALL GRP3
0200 BM=ABS(A(2))
0201 DO 5014 I=3,NA
0202 IF(ABS(A(I)).LT.BM) GO TO 5014
0203 BM=ABS(A(I))
0204 5014 CONTINUE
0205 IF(BM.LE.VARV(3)) GO TO 5025
0206 DO 5015 I=2,NA
0207 P(I,1)=P(I,1)+VARV(4)*A(I)
0208 PG(I)=P(I,1)+PC(I)
0209 IF(PG(I).GT.PGMX(I)) GO TO 5016
0210 IF(PG(I).LT.PGMV(I)) GO TO 5017
0211 GO TO 5015
0212 5016 PG(I)=PGMX(I)
0213 P(I,1)=PG(I)-PC(I)
0214 GO TO 5015
0215 5017 PG(I)=PGMV(I)
0216 P(I,1)=PG(I)-PC(I)
0217 CONTINUE
0218 5025 CONTINUE
0219 IF(AM.LE.VARV(1).AND.3M.LE.VARV(3))IFM=1
0220 IF(IFM.EQ.1)IFPOT(5)=1
0221 DO 5008 I=1,NA
0222 5012 P(I,1)=P(I,1)/BASE

```



```

0225 IF (IFM.EQ.1) GO TO 5322
0226 WRITE (IMPR,5103) I, (NOME (IS,J),J=1,4), SA (IS), RM (IS)
0227 5103 FORMAT (11X,12,8X,11X,1H-,13X,11H-,12X,F8.3,13X,1H-,14X,F6.4,3
0228 *9X,1H-)
0229 JJ=0
0230 N=2*NA-1-KK
0231 M=NA-1
0232 DO 5110 I=1,M
0233 J=I+1
0234 IF (KT (J).EQ.0) GO TO 5111
0235 IF (KC (J).EQ.1) GO TO 5111
0236 Z=0.
0237 JJ=JJ+1
0238 GO TO 5113
0239 5111 M4=I+M-JJ
0240 Z=EJ (MM,N)
0241 5113 WRITE (IMPR,5112) J, (NOME (J,II),II=1,4), EJ (I,N), Z, SA (J), A (J), RM (J),
0242 *PS (J)
0243 5110 CONTINUE
0244 5112 FORMAT (11X,12,8X,4A2,8X,F8.3,6X,F8.3,8X,F8.3,9X,F8.3,11X,F6.4,
0245 *6X,F8.2)
0246 GO TO 5329
0247 5322 WRITE (IMPR,5328)
0248 5328 FORMAT (///,40X,41HC A S O O T I M I Z A D O)
0249 5329 KV=KV+1
0250 IF POT (8)=1
0251 IF (KV.EQ.IF POT (10)) IF POT (5)=1
0252 GO TO 700
0253 55 CONTINUE
0254 1011 FORMAT (1H,5X)
0255 STOP
0256 END

```

C 3990
C 4020
C 4030

** NO ERRORS** PROGRAM = 02587 COMMON = 08740


```

0257 SUBROUTINE MATRY
0258 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0259 COMMON B(20,20),G(20,20),PM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0260 COMMON RPM(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0261 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),CG(20),PGMX(20),PGMN(20),VX(20),VN(20)
0262 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0263 COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0264 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BV
0265 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MX,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0266 SUBROUTINA PARA LEITURA DOS DADOS DO SISTEMA E FORMACAO DA MATRIZ Y
0267 READ (LE,901) N,IS,TOR,TOI,TOV,BASE
0268 LE N = NUMERO DE BARRAS
0269 LE IS = NUMERO DE BARRA SWING
0270 LE TOR=TOLERANCIA POTENCIA ATIVA (PU)
0271 LE TOI=TOLERANCIA POTENCIA REATIVA (PU)
0272 LE TOV=TOLERANCIA TENSAO (PU)
0273 LE BASE=POTENCIA BASE EM MVA
0274 901 FORMAT(2X,2(I2,2X),4(F6.0,2X))
0275 NA = N
0276 WRITE(IMPR,800)NASE,IS,TOR,TOI,TOV,BASE
0277 800 FORMAT(1H1,/,22X,81HD A D O S D E E N T R A D A P A R A O
0278 * F L U X O D E P O T E N C I A,/,/,5X,11HCASO NUMERO,12,
0279 * //9X,20HBARRA COMPENSACAO = ,12/9X,15HP T
0280 * TOLERANCIA = ,F10.6/9X,15HQ TOLERANCIA = ,F10.6/9X,15HV TOLERANCIA
0281 * = ,F10.6/9X,11HBASE MVA = ,F10.2//)
0282 WRITE(IMPR,820)
0283 820 FORMAT(40X,25HDADOS DE LINHA EM ( P. U.),/7X,5HRARRA,3X,4HNUME,3X
0284 * ,5HBARRA,3X,4HNUME,6X,11HRESISTENCIA,5X,9HREATANCIA,5X,12HSUSCEPT
0285 * NCIA,5X,12HTAPES(TRAFO),/)
0286 DO 652 I = 1,NA
0287 LE DADOS DE BARRA
0288 READ(LE,648)KT(I),(NOME(I,K),K=1,4),E(I,1),PG(I),Q(I),RPI(I),RPM(I
0289 *),PC(I),QC(I),QSH(I)
0290 P(I,1)=PG(I)-PC(I)
0291 P(I,2)=Q(I)-QC(I)
0292 RPM(I)=RPM(I)-QC(I)
0293 -RPI(I)=RPI(I)-QC(I)
0294 LE KT = CODIGO TIPO DE BARRA
0295 KT = 0 BARRA DE CARGA E SWING
0296 KT = 1 BARRA DE GERACAO
0297 LE NOME = NOME DA BARRA
0298 LE E = MODULO DA TENSAO (PU)
0299 LE P = POTENCIA ATIVA E REATIVA (GERACAO-CARGA) (MW E MVAR)
0300 LE QSH=CAPACITOR(+) E REATOR(-) (MVAR)
0301 LE RPM=LIMITE MAXIMO DE GERACAO DE POTENCIA REATIVA (MVAR)
0302 LE RPI=LIMITE MINIMO DE GERACAO DE POTENCIA REATIVA (MVAR)
0303 648 FORMAT(7X,11,1X,4A2,5X,F4.3,4X,4F5.0,5X,3F5.0)
0304 E(I,2) = .0001
0305 IF( KT(I).GE.1) VE(I)=E(I,1)
0306 ZERA MATRIZ Y
0307 DO 652 J = 1,NA
0308 G(I,J)=0.0

```

DADOS 2

0313	C	470	READ(LE,902)J,K,R,X,ACB,TAP
0314	C		J,K= NRO DAS BARRAS TERMINAIS
0315	C		R= RESISTENCIA (PU)
0316	C		X= REATANCIA (PU)
0317	C		ACB= SUSCEPTANCIA (PU)
0318	C		TAP= TAPES DOS TRANSFORMADORES (BARRA DO LADO TAP VARIÁVEL J)
0319	C	471	IF(P.EQ.99999.) GO TO 654
0320			902 FORMAT(14,X,14,5X,2F6.0,F6.0,F5.3)
0321			R= R/100.
0322			X= X/100.
0323			ACB= ACB/3ASE
0324	C	490	WRITE(1MPR,821)J,(NOME(J,JJ),JJ=1,4),K,(NOME(K,KK),KK=1,4),R,X,
0325	C	500	IACB,TAP
0326			821 FORMAT(7X,2(3X,12,2X,4A2),2F14.5,1X,2F15.5)
0327	C		FORMACAO DA MATRIZ Y
0328		520	Z= R*R + X*X
0329		530	GG = R/Z
0330		540	G(J,K) = G(J,K) + SG
0331			G(K,J) = G(J,K)
0332		560	B3 = -X/Z
0333		570	IF(TAP.GT.0.0) GO TO 650
0334		580	B(J,K) = B(J,K) + B3
0335			B(K,J) = B(J,K)
0336		600	AC(J,K) = AC(J,K) + ACB/2.
0337			AC(K,J) = AC(J,K)
0338		620	GO TO 653
0339	C		CONSIDERACAO TAPES DOS TRANSFORMADORES
0340		630	650 B(J,K)=B(J,K) + B3/TAP
0341		640	B(K,J)=B(J,K)
0342		650	AC(J,K) = B3 * ((1./TAP**2)) - (1./TAP)) + AC(J,K)
0343		660	AC(K,J) = B3 * ((1.-1./TAP)) + AC(K,J)
0344		670	653 CONTINUE
0345			654 WRITE(1MPR,804)
0346			804 FORMAT(1H1,/,50X,14DADOS DE BARRA,/,18X,20HBARRA DE COMPENSACAO,
0347			*,18X,5HBARRA,5X,4HNOME,7X,6HTENSAO,/,40X,6H(P.U.),/)
0348			703 WRITE(1MPR,805)IS,(NOME(IS,II),II=1,4),E(IS,1)
0349			805 FORMAT(21X,12,2X,4A2,5X,F9.5)
0350			WRITE(1MPR,806)
0351	C	730	806 FORMAT(//,18X,17HBARRAS DE GERACAO,/,18X,5HBARRA,6X,4HNOME,
0352			*7X,5HTENSAO,6X,7HP.ATIVA,7X,11P.REAT(MAX),5X,11HP.REAT(MIN),/,
0353			*40X,6H(P.U.),3X,4H(VW),10X,6H(VVAR),10X,6H(VVAP),/)
0354		760	DO 704 I=1,N
0355			AV= RPM(I) + QC(I)
0356			BV= RPI(I) + QC(I)
0357			IF(CT(I).GT.0) WRITE(1MPR,807)I,(NOME(I,II),II=1,4),VE(I),PG(I),
0358			*AV,BV
0359			807 FORMAT(21X,12,2X,4A2,5X,F9.5,4X,F9.3,2(7X,F9.3))
0360			704 CONTINUE
0361			WRITE(1MPR,808)
0362			808 FORMAT(//,16X,15HBARRAS DE CARGA,/,18X,5HBARRA,6X,4HNOME,
0363			*7X,5HTENSAO,6X,7HP.ATIVA,9X,9HP.REATIVA,5X,10HREAT/CAPAC,/,
0364			*40X,6H(P.U.),8X,4H(VW),12X,6H(VVAR),8X,6H(VVAP),/)
0365			DO 706 I=1,N
0366	C	840	WRITE(1MPR,807)I,(NOME(I,IJ),IJ=1,4),E(I,1),PC(I),QC(I),QSH(I)


```

0399 SUBROUTINE RESULT
0400 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0401 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0402 COMMON RPI(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0403 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PSX(20),PGV(20),VX(20),VN(20)
0404 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),SI(20),TETA(20),VARV(6)
0405 COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0406 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,B4
0407 COMMON KL,NV,KK,YCAS,JAC,MY,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0408 C SUBROTINA PARA CALCULO DOS FLUXOS NAS LINHAS E IMPRESSAO DOS RESULTADOS
0409 IF(IFPOT(9).EQ.0)GO TO 210
0410 IF(IFPOT(5).EQ.1) GO TO 210
0411 GO TO 220
0412 210 WRITE(IMPR,500)NV
0413 600 FORMAT(//,5X,21-NUMERO DE ITERACOES =,I3/)
0414 C CALCULO DAS POTENCIAS NAS LT E PERDAS NO SISTEMA
0415 220 PPA=0.
0416 PPR = 0.
0417 DO 100 I = 1,NA
0418 SAT=0.0
0419 SAD=0.0
0420 C6 RM = MODULO DA TENSAO - A = ANGULO DA TENSAO(GRAUS)
0421 RM(I)=SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0422 ANG=ATAN(E(I,L)/E(I,K))
0423 A(I)=ANG*180./3.14159265
0424 QSH(I) = ( QSH(I)*RM(I)**2)*BASE
0425 DO 52 J=1,NA
0426 IF(I-J)63,62,63
0427 63 PR=E(I,L)*E(J,K)-E(J,L)*E(I,K)
0428 PY=E(I,K)*E(I,K)**2-E(I,K)*E(J,K)+E(I,L)**2-E(I,L)*E(J,L)
0429 PL(I,J,K) = -PY*G(I,J)-PR*8(I,J)
0430 PL(I,J,L) = -PY*8(I,J)+PR*G(I,J)-(E(I,K)**2+E(I,L)**2)*AC(I,J)
0431 PL(I,J,K)=PL(I,J,K)*BASE
0432 PL(I,J,L)=PL(I,J,L)*BASE
0433 SAT=PL(I,J,K)+SAT
0434 SAD=PL(I,J,L)+SAD
0435 62 CONTINUE
0436 P(I,K)=SAT
0437 P(I,L) = SAD - QSH(I)
0438 C7 PPA=PERDAS POT ATIVA - PPR=PERDAS POT REATIVA
0439 PPA = P(I,K) + PPA
0440 PPR = P(I,L) + PPR
0441 100 CONTINUE
0442 VARV(6)=PPA
0443 C IMPRESSAO DOS RESULTADOS
0444 DO 150 I=1,NA
0445 QSH(I)=(QSH(I)/(RM(I)**2))/BASE
0446 IF(IFPOT(8).EQ.0) GO TO 200
0447 IF(IFPOT(5).EQ.0) RETURN
0448 200 WRITE(IMPR,79)
0449 79 FORMAT(//,35X,30-ITENSORES E POTENCIAS DAS BARRAS,/)
0450 WRITE(IMPR,80)
0451 780 FORMAT(5X,5-BARRA,6X,4-NUOME,6X,6-ITENSAO,4X,6-ANGULO,5X,4-HPGER,
0452 6X,4-HPGER,6X,6-HPCARREGA,4X,6-HPCARREGA,3X,10-DEBIT/CAPAC,

```



```

0455 Q(1)=P(1,2)+QC(1)
0456 DO 90 I=1,NA
0457 QSH(I)=(QSH(I)*RM(I)**2)*BASE
0458 IF(KT(I).EQ.0) GO TO 90
0459 Q(I)=P(I,2)+QC(I)
0460 IF(KC(I).EQ.1)Q(I)=RPM(I)*BASE+QC(I)
0461 IF(KC(I).EQ.2)Q(I)=RPI(I)*BASE+QC(I)
0462 *QC(I),QSH(I)
90 WRITE(1MPR,107)I,(NOME(I,J),J=1,4),RM(I),A(I),PG(I),Q(I),PC(I),
0463 *QC(I),QSH(I)
107 FORMAT(18,5X,4A2,3X,F8.4,3X,F7.2,3X,2(F6.1,3X),2X,3(F6.1,3X)) C 2470
0464 WRITE(1MPR,72)
0465 WRITE(1MPR,72) C 2490
0466 72 FORMAT(/20X,28HFLUXO DE POTENCIA NAS LINHAS,/)
0467 WRITE(1MPR,98)
0468 98 FORMAT(10X,5H3ARRA,4X,4HPARA,6X,5H3ARRA,6X,
0469 *11H2.ATIVA(4M),4X,15H2.REATIVA(4VAR),/)
0470 - DO 95 I=1,NA
0471 QSH(I)=(QSH(I)/(RM(I)**2))/BASE C 2510
0472 DO 95 J = 1,NA
0473 IF(I.NE.J.AND.3(I,J).NE.0.0)WRITE(1MPR,87)I,(NOME(I,II),II=1,4),J,
0474 *(NOME(J,JJ),JJ=1,4),PL(I,J,K),PL(I,J,L)
0475 87 FORMAT(5X,I2,2X,4A2,5X,I2,2X,4A2,F15.3,F18.3)
0476 95 CONTINUE
0477 WRITE(1MPR,101) C 2570
0478 101 FORMAT(/35X,17HPERDAS NO SISTEMA,/) C 2580
0479 WRITE(1MPR,102) C 2600
0480 102 FORMAT(25X,14HPOTENCIA ATIVA,11X,16HPOTENCIA REATIVA,/,
0481 *29X,4H(4M),22X,5H(4VAR),/)
0482 WRITE(1MPR,103)PPA,PPR C 2620
0483 103 FORMAT(F35.5,F27.5//) C 2630
0484 RETURN
0485 END

```

** NO ERRORS** PROGRAM = 01489 COMMON = 08740


```

0486 SUBROUTINE JACOB
0487 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0488 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0489 COMMON RY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),SSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0490 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGX(20),PGMY(20),VX(20),VN(20)
0491 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0492 COMMON VME(20,4),LJC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0493 COMMON TOR,TOI,TOW,BASE,Z,ANG,AV,B4
0494 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,VASE,LE,IMPR
0495 FORMACAO DA MATRIZ JACOBIANA
0496 DO 15 I=1,NA
0497 IF(I-IS)17,15,17
0498 17 CM=0.
0499 DM=0.
0500 DO 19 J=1, NA
0501 IF(J-IS)20,19,20
0502 IF(I-J)21,19,21
0503 CALCULO DOS TERMOS HIJ
0504 21 M=J-1
0505 N=I-1
0506 EJ(N,M)=(G(I,J)*E(J,K)+B(I,J)*E(J,L))*E(I,L)-(G(I,J)*E(J,L)-B(I,J)
0507 **E(J,K))*E(I,K)
0508 19 CONTINUE
0509 C CALCULO DOS TERMOS HII
0510 N=I-1
0511 EJ(N,N)=-PA(I,L)+B(I,I)*(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0512 CALCULO DOS TERMOS NIJ
0513 DO 22 J=1, NA
0514 IF(J-IS)23,22,23
0515 23 IF(I-J)24,22,24
0516 24 M=J+NA-2
0517 N=I-1
0518 IF(KT(J).VE.1)GO TO 2001
0519 IF(KC(J).EQ.0)GO TO 2002
0520 GO TO 2001
0521 NIJ=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA J
0522 2002 EJ(N,M)=0.
0523 GO TO 22
0524 2001 EJ(N,M)=(G(I,J)*E(J,K)+B(I,J)*E(J,L))*E(I,K)+(G(I,J)*E(J,L)-B(I,J)
0525 **E(J,K))*E(I,L)
0526 22 CONTINUE
0527 C CALCULO DOS TERMOS VII
0528 M=I+NA-2
0529 N=I-1
0530 IF(KT(I).VE.1)GO TO 2003
0531 IF(KC(I).EQ.0)GO TO 2004
0532 GO TO 2003
0533 NII=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA I
0534 2004 EJ(N,M)=0.
0535 GO TO 2005
0536 2003 EJ(N,M)=PA(I,K)+G(I,I)*(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0537 C CALCULO DOS TERMOS JIJ
0538 2005 DO 25 J=1,NA
0539 IF(J-IS)26,25,26

```

NA=1
 NA=2
 NA=3
 NA=4
 NA=5
 NA=6
 NA=7
 NA=8
 NA=9
 NA=10
 NA=11
 NA=12
 NA=13
 NA=14
 NA=15
 NA=16
 NA=17
 NA=18
 NA=19
 NA=20
 NA=21
 NA=22
 NA=23
 NA=24
 NA=25
 NA=26
 NA=27
 NA=28
 NA=29
 NA=30
 NA=31
 NA=32
 NA=33
 NA=34
 NA=35
 NA=36
 NA=37
 NA=38
 NA=39
 NA=40

NA=1
 NA=2
 NA=3
 NA=4
 NA=5
 NA=6
 NA=7
 NA=8
 NA=9
 NA=10
 NA=11
 NA=12
 NA=13
 NA=14
 NA=15
 NA=16
 NA=17
 NA=18
 NA=19
 NA=20
 NA=21
 NA=22
 NA=23
 NA=24
 NA=25
 NA=26
 NA=27
 NA=28
 NA=29
 NA=30
 NA=31
 NA=32
 NA=33
 NA=34
 NA=35
 NA=36
 NA=37
 NA=38
 NA=39
 NA=40

NA=1
 NA=2
 NA=3
 NA=4
 NA=5
 NA=6
 NA=7
 NA=8
 NA=9
 NA=10
 NA=11
 NA=12
 NA=13
 NA=14
 NA=15
 NA=16
 NA=17
 NA=18
 NA=19
 NA=20
 NA=21
 NA=22
 NA=23
 NA=24
 NA=25
 NA=26
 NA=27
 NA=28
 NA=29
 NA=30
 NA=31
 NA=32
 NA=33
 NA=34
 NA=35
 NA=36
 NA=37
 NA=38
 NA=39
 NA=40


```

0542 M=J-1
0543 IF(KT(I).NE.1)GO TO 2006
0544 IF(KC(I).EQ.0)GO TO 2007
0545 GO TO 2006
0546 JIJ=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA I
0547 C 2007 EJ(N,M)=0.
0548 GO TO 25
0549 2006 EJ(N,M)=-((G(I,J)*E(J,K)+B(I,J)*E(J,L))*E(I,K)+(G(I,J)*E(J,L)-B(I,
0550 *J)*E(J,K))*E(I,L))
0551 25 CONTINUE
0552 C CALCULO DOS TERMOS JIJ
0553 N=I+NA-2
0554 M=I-1
0555 IF(KT(I).NE.1)GO TO 2008
0556 IF(KC(I).EQ.0)GO TO 2009
0557 GO TO 2009
0558 JIJ=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA I
0559 C 2009 EJ(N,M)=0.
0560 GO TO 2010
0561 2008 EJ(N,M)=PA(I,K)-G(I,I)*(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0562 C CALCULO DOS TERMOS LIJ
0563 2010 DO 28 J=1,NA
0564 IF(J-IS)29,29,29
0565 29 IF(J-I)30,28,30
0566 30 N=I+NA-2
0567 M=J+NA-2
0568 IF(KT(I).NE.1)GO TO 2011
0569 IF(KC(I).EQ.0)GO TO 2012
0570 GO TO 2011
0571 C LIJ=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA I E/OU J
0572 2012 EJ(N,M)=0.
0573 GO TO 28
0574 2011 IF(KT(J).NE.1)GO TO 2013
0575 IF(KC(J).EQ.0)GO TO 2012
0576 2013 EJ(N,M)=(G(I,J)*E(J,K)+B(I,J)*E(J,L))*E(I,L)-(G(I,J)*E(J,L)-B(I,J)
0577 **E(J,K))*E(I,K)
0578 28 CONTINUE
0579 C CALCULO DOS TERMOS LII
0580 N=I+NA-2
0581 M=I+NA-2
0582 IF(KT(I).NE.1)GO TO 2014
0583 IF(KC(I).EQ.0)GO TO 2015
0584 GO TO 2014
0585 C LII=0. NO CASO DE GERACAO NA BARRA I
0586 2015 EJ(N,M)=0.
0587 GO TO 15
0588 2014 EJ(N,M)=PA(I,L)+B(I,I)*(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0589 15 CONTINUE
0590 RETURN
0591 END

```



```

0592 SUBROUTINE IMJAC
0593 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0594 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0595 COMMON RPI(20),PI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0596 COMMON CA(20),C3(20),CC(20),PG(20),PGMX(20),PGMN(20),VX(20),VN(20)
0597 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),S9(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0598 COMMON VOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0599 COMMON TOR,TOT,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0600 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0601 IMPRESSAO DO JACOBIANO,DELTA P E DELTA Q
0602 MC=2*NA-1
0603 NC=2*NA-2
0604 NCI = NA - 1
0605 IF(JAC.EQ.0) GO TO 845
0606 WRITE(IMPR,1000)NV
0607 1000 FORMAT(/'10X,21HITERACAO DO JACOBIANO,I2,30(2H *)')
0608 WRITE(IMPR,822)
0609 822 FORMAT(/'20X,20HPARTE H DO JACOBIANO,/')
0610 DO 840 I=1,NC1
0611 840 WRITE(IMPR,1104)(EJ(I,J),J=1,NC1)
0612 1104 FORMAT(1X,F7E17.7)
0613 WRITE(IMPR,823)
0614 823 FORMAT(/'20X,20HPARTE N DO JACOBIANO,/')
0615 DO 841 I=1,NC1
0616 841 WRITE(IMPR,1104)(EJ(I,J),J=NA,NC)
0617 WRITE(IMPR,824)
0618 824 FORMAT(/'20X,20HPARTE J DO JACOBIANO,/')
0619 DO 842 I=NA,NC
0620 842 WRITE(IMPR,1104)(EJ(I,J),J=1,NC1)
0621 WRITE(IMPR,825)
0622 825 FORMAT(/'20X,20HPARTE L DO JACOBIANO,/')
0623 DO 843 I=NA,NC
0624 843 WRITE(IMPR,1104)(EJ(I,J),J=NA,NC)
0625 WRITE(IMPR,826)
0626 826 FORMAT(/'20X,21HDELTA P E DELTA Q,/')
0627 DO 844 I=1,NC1
0628 NCI=NC1+I
0629 844 WRITE(IMPR,1104)(EJ(I,NC),EJ(NCI,MC))
0630 845 CONTINUE
0631 RETURN
0632 END

```

```

C 3370
C 3420
C 3440
C 3470
C 3490
C 3510
C 3520
C 3560
C 3570
C 3600
C 3610
C 3650

```

```

** NO ERRORS** PROGRAM = 00424 COMMON = 08740

```



```

0633 SUBROUTINE REJAC
0634 COMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0635 COMON 3(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0636 COMON RPI(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),JSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0637 COMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGX(20),PGMY(20),VN(20)
0638 COMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0639 COMON NME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPT(10)
0640 COMON TOR,TOT,TOTV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0641 COMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,VASE,LE,IMPR
0642 C SUBROTINA PARA REARRANJO DA MATRIZ JACOBIANA E RESOLUCAO DAS EQACOES
0643 KK=0
0644 DO 2370 I=2,NA
0645 IF(KT(I).EQ.0) GO TO 2370
0646 IF(KC(I).EQ.0) KK=KK+1
0647 CONTINUE
0648 NC=2*NA-2
0649 MC=VC+1
0650 DO 2363 I=1,NC
0651 IF(EJ(I,I).EQ.0.)GO TO 2368
0652 GO TO 2363
0653 2368 II=I+1
0654 DO 2364 J=II,MC
0655 IF(EJ(J,I).EQ.0.)GO TO 2364
0656 GO TO 2359
0657 CONTINUE
0658 2369 CONTINUE
0659 DO 2365 M=1,MC
0660 EJ(I,M)=EJ(J,M)
0661 2365 EJ(J,M)=0.
0662 DO 2366 M=1,NC
0663 EJ(M,I)=EJ(M,J)
0664 2366 EJ(M,J)=0.
0665 2363 CONTINUE
0666 NC=MC-KK
0667 DO 2367 M=1,NC
0668 EJ(M,NC)=EJ(M,MC)
0669 C CALCULO DOS DELTAS TETA E DELTAS V
0670 NC=2*NA-2-KK
0671 MC=2*NA-1-KK
0672 C CALCULO DOS DELTAS V E TETA USANDO GAUSS-JORDAN COM CONDENSAÇÃO PIVOTAL
0673 DO 401 I=1,NC
0674 401 CK(I)=0.
0675 DO 408 I=1,NC
0676 IP=I+1
0677 AMAX=0.
0678 DO 402 KK=1,NC
0679 IF(AMAX-ABS(EJ(KK,I)))403,402,402
0680 403 IF(CK(KK))404,404,402
0681 404 LOC(I)=KK
0682 AMAX=ABS(EJ(KK,I))
0683 402 CONTINUE
0684 IF(ABS(AMAX).LE.10.E-6) GO TO 41
0685 LL=LOC(I)
0686 CK(LL)=1.

```



```

0689 . 406 F=-EJ(J,I)/EJ(LL,I)
0690      DO 407 KKK=IP,MC
0691      407 EJ(J,KKK)=EJ(J,KKK)+F*EJ(LL,KKK)
0692      405 CONTINUE
0693      408 CONTINUE
0694      DO 409 I=1,NC
0695      LL=LOC(I)
0696      409 XX(I)=EJ(LL,MC)/EJ(LL,I)
0697      DO 410 I=1,NC
0698      410 EJ(I,MC)=XX(I)
0699      RETURN
0700      41 WRITE(10PR,333)
0701      333 FORMAT(1X,47H4 TERMOS NULOS NA DIAGONAL DA MATRIZ JACOBIANA)
0702      IS=1000
0703      RETURN
0704      END

```

```

** NO ERRORS**      PROGRAM = 00624      COMMON = 08740

```



```

0705 SUBROUTINE NOV0V
0706 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0707 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0708 COMMON RPY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0709 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGMX(20),PGMN(20),VX(20),VN(20)
0710 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0711 COMMON VME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0712 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0713 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,VA,IS,NASE,LE,IMPR
0714 C CALCULO DOS NOVOS V E TETAS
0715 DO 2020 I=2,NA
0716 AM=E(I,K)
0717 E(I,K)=SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0718 E(I,L)=ATAN(E(I,L)/AM)
0719 DO 2021 I=2,NA
0720 M=I-1
0721 J=2*NA-I-KK
0722 E(I,L)=E(I,L)+EJ(M,J)
0723 2021 CONTINUE
0724 M=NA
0725 DO 2022 I=2,NA
0726 IF(KT(I).NE.1) GO TO 2026
0727 IF(KC(I).EQ.0) GO TO 2022
0728 E(I,K)=E(I,K)*(1.+EJ(M,J))
0729 M=M+1
0730 2022 CONTINUE
0731 DO 2023 I=2,NA
0732 E(I,K)=E(I,K)*COS(E(I,L))
0733 E(I,L)=E(I,K)*TAN(E(I,L))
0734 DO 428 I=1,NA
0735 IF(KT(I).EQ.0) GO TO 428
0736 RM(I)=SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0737 A(I)=ATAN(E(I,L)/E(I,K))
0738 KF(I)=KF(I)+1
0739 IF(KC(I).NE.0) GO TO 443
0740 KF(I)=KF(I)+1
0741 GO TO 430
0742 +43 IF(KC(I).EQ.1) GO TO 429
0743 IF(RM(I).GT.VE(I)) GO TO 428
0744 GO TO 430
0745 429 IF(RM(I).LT.VE(I)) GO TO 428
0746 430 E(I,K)=VE(I)*COS(A(I))
0747 E(I,L)=VE(I)*SIN(A(I))
0748 428 CONTINUE
0749 RETURN
0750 END

```

** NO ERRORS** PROGRAM = 00551 COMMON = 08740


```

0751 SUBROUTINE JFLOT
0752 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0753 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CX(38),XX(38)
0754 COMMON RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0755 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGMX(20),PGMN(20),VX(20),VN(20)
0756 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(5)
0757 COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0758 COMMON JCR,TOT,TOV,BASE,Z,AVG,AM,BM
0759 COMMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,VASE,LE,IMPR
0760 SUBROUTINE PARA LEITURA DOS DADOS NECESSARIOS NA SOLUCAO DO FLUXO OTIMO
0761 WRITE(IMPR,5)VARV(1),VARV(3),VARV(2),VARV(4),IFPOT(10)
0762 5 FORMAT(11,/,18X,93H D O S D E E N T R A D A P A R A O
0763 * F L U X O D E P O T E N C I A O T I M O,/,/,
0764 * 9X,35HTOLERANCIA DO GRADIENTE DE TENSÃO =,10X,F12.5,/,
0765 * 9X,37HTOLERANCIA DO GRADIENTE DE POTENCIA =,8X,F12.5,/,
0766 * 9X,42HFATOR DE CORRECAO DO GRADIENTE DE TENSÃO =,3X,F12.5,/,
0767 * 9X,44HFATOR DE CORRECAO DO GRADIENTE DE POTENCIA =,1X,F12.5,/,
0768 * 9X,37HNUMERO MAXIMO DE ITERACOES PERMITIDAS,/,
0769 * 9X,39HNA SOLUCAO DO FLUXO DE POTENCIA OTIMO =,10X,I2,/,
0770 IF(IFPOT(2),EQ.1) GO TO 60
0771 WRITE(IMPR,70)
0772 70 FORMAT(9X,51HFUNCÃO OBJETIVO -MINIMIZACAO DOS CUSTOS DE PRODUCAO,)
0773 GO TO 80
0774 60 WRITE(IMPR,90)
0775 90 FORMAT(9X,50HFUNCÃO OBJETIVO -MINIMIZACAO DAS PERDAS DO SISTEMA,)
0776 80 IF(IFPOT(3),EQ.1)AND(IFPOT(4),EQ.1) GO TO 100
0777 IF(IFPOT(3),EQ.1) WRITE(IMPR,110)
0778 IF(IFPOT(4),EQ.1) WRITE(IMPR,120)
0779 GO TO 180
0780 100 WRITE(IMPR,130)
0781 130 FORMAT(9X,52HVARIAVEIS DE CONTROLE- TENSÃO E POTENCIA DAS BARRAS D
0782 *E GERACAO,/,/,
0783 110 FORMAT(9X,55HVARIAVEIS DE CONTROLE- TENSÃO DAS BARRAS DE GERACAO E
0784 * COMPENSACAO,/,/,
0785 120 FORMAT(9X,53HVARIAVEIS DE CONTROLE- POTENCIA DAS BARRAS DE GERACAO
0786 *,/,/,
0787 180 WRITE(IMPR,140)
0788 140 FORMAT(56X,18HADADOS DE BARRA,/,9X,5HRARRA,7X,4HNOOME,7X,4HVMAX
0789 * 5X,4HVMIN,6X,5HPGMX,4X,5HPGMIN,7X,19HFUNCÃO DE CUSTO,7X,26HF
0790 * ATORES DE PENALIZACAO,/,31X,33H(P.U.) (P.U.) (MW) (M
0791 * W),8X,51H(3) R(S/MW) C(S/MW2) TENSÃO POTENC ANGULO TAPE,/,
0792 DO 10 I=1,NA
0793 SA(I)=0.
0794 READ(LE,20)CA(I),CB(I),CC(I),PGMX(I),PGMN(I),VX(I),VN(I)
0795 READ(LE,50)SV(I),SP(I),SQ(I),ST(I),TETA(I)
0796 10 CONTINUE
0797 DO 150 I=1,NA
0798 150 WRITE(IMPR,160)I,(NOME(I,J),J=1,4),VX(I),VN(I),PGMX(I),PGMN(I),
0799 *CA(I),CB(I),CC(I),SV(I),SP(I),ST(I),TETA(I),
0800 160 FORMAT(11X,12,6X,4A2,4X,2(F6.3,3X),1X,2(F6.1,3X),2X,3(F7.3,1X),3X,
0801 *4(F6.1,1X))
0802 20 FORMAT(3(F10.0,2X),8X,4(F6.0,2X))
0803 50 FORMAT(10X,5(F8.0,2X))
0804 RETURN
0805 END

```


COMMON = 08740

PROGRAM = 01003

** NO ERRORS**


```

0806. SUBROUTINE DFDX
0807 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0808 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0809 COMMON RPY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),JSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0810 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGX(20),PGMY(20),VX(20),VN(20)
0811 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0812 COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0813 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0814 COMMON CL,NV,KK,KCAS,JAC,MY,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0815 C SURROUTINA PARA CALCULO DAS DERIVADAS DA FUNCAO OBJETIVA EM RELACAO
0816 C AS VARIAVEIS DEPENDENTES
0817 Z=1.*BASE
0818 AM=2.*SP(1)*(PG(1)-PGMX(1))
0819 BM=2.*SP(1)*(PG(1)-PGMY(1))
0820 IF(PG(1).GT.PGMX(1)) Z=Z*AM
0821 IF(PG(1).LT.PGMX(1)) Z=Z*BM
0822 IF(IFPOT(2).EQ.1) GO TO 5
0823 Z=(CB(1)+2.*CC(1)*PG(1))*BASE
0824 IF(PG(1).GT.PGMX(1)) Z=Z*AM
0825 IF(PG(1).LT.PGMX(1)) Z=Z*BM
0826 5 N=2*NA-1
0827 DO 10 J=2,NA
0828 M=J-1
0829 EJ(M,N)=(G(1,J)*E(J,K)+B(1,J)*E(J,L))*E(1,L)-(G(1,J)*E(J,L)-B(1,J)
0830 *E(J,K))*E(1,K)
0831 EJ(M,N)=-(EJ(M,N)*Z)
0832 ANG=(ATAN(E(J,L)/E(J,K)))*(180./3.1416)
0833 IF(ANG.LT.TETA(J)) GO TO 10
0834 EJ(M,N)=EJ(M,N)-2.*SA(J)*(ANG-TETA(J))
0835 10 CONTINUE
0836 DO 20 J=2,NA
0837 M=NA+J-2
0838 IF(KT(J).NE.1) GO TO 30
0839 IF(KC(J).EQ.0) GO TO 40
0840 30 EJ(M,N)=(G(1,J)*E(J,K)+B(1,J)*E(J,L))*E(1,K)+(G(1,J)*E(J,L)-B(1,J)
0841 *E(J,K))*E(1,L)
0842 EJ(M,N)=-(EJ(M,N)*Z)
0843 AM=SQRT(E(J,K)*2+E(J,L)*2)
0844 IF(AM.GT.VX(J)) GO TO 50
0845 IF(AM.LT.VN(J)) GO TO 60
0846 GO TO 20
0847 50 EJ(M,N)=EJ(M,N)-2.*SV(J)*(AM-VX(J))*AM
0848 GO TO 20
0849 60 EJ(M,N)=EJ(M,N)-2.*SV(J)*(AM-VN(J))*AM
0850 GO TO 20
0851 40 EJ(M,N)=0.
0852 20 CONTINUE
0853 RETURN
0854 END

```



```

0855 SUBROUTINE TRJAC
0856 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0857 COMMON 3(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0858 COMMON RPY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),QSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0859 COMMON CA(20),CG(20),CC(20),PG(20),PGMX(20),PGMY(20),VX(20),VN(20)
0860 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),SI(20),TETA(20),VARV(6)
0861 COMMON NOME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0862 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BM
0863 COMMON X,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,NASE,LE,IMPR
0864 SUBROTINA PARA TRANSPOSICAO DO JACOBIANO
0865 M=2*NA-2
0866 DO 10 I=1,M
0867 DO 10 J=1,M
0868 IF(J.LE.I) GO TO 10
0869 AM=EJ(I,J)
0870 EJ(I,J)=EJ(J,I)
0871 EJ(J,I)=AM
0872 10 CONTINUE
0873 RETURN
0874 EN)

```

** NO ERRORS** PROGRAM = 00136 COMMON = 08740


```

0875 SUBROUTINE SRDV
0876 COMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0877 COMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CK(38),XX(38)
0878 COMON RPY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),PH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0879 COMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGV(20),PGW(20),VX(20),VN(20)
0880 COMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0881 COMON VME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0882 COMON TOR,TOI,TOV,3ASE,Z,ANG,AX,BX
0883 COMON K,L,NV,KK,NCAS,JAC,MY,NA,IS,4ASE,LE,IMPR
0884 SUBROUTINE PARA CALCULO DO GRADIENTE COM RESPEITO A VARIÁVEL DE CONTROLE V
0885 CALCULO DE DF DU PENALIZADO
0886 Z=1.*BASE
0887 AY=2.*SP(1)*(PG(1)-PGMX(1))
0888 BY=2.*SP(1)*(PG(1)-PGW(1))
0889 IF(PG(1).GT.PGMX(1)) Z=Z+AM
0890 IF(PG(1).LT.PGMX(1)) Z=Z+BM
0891 IF(IFPOT(2).EQ.1) GO TO 5
0892 Z=(CB(1)+2.*CC(1)*PG(1))*BASE
0893 IF(PG(1).GT.PGMX(1)) Z=Z+AM
0894 IF(PG(1).LT.PGMX(1)) Z=Z+BM
0895 5 RM(1)=((P(1,1)/BASE)+G(1,1))*(E(1,K)**2+E(1,L)**2)*Z
0896 DO 10 J=2,NA
0897 IF(KT(J).LE.0.AND.J.NE.IS) GO TO 20
0898 RM(J)=(G(1,J)*E(J,K)+3(1,J)*E(J,L))*E(1,K)+(G(1,J)*E(J,L)-3(1,J)*E
0899 *(J,K))*E(1,L)
0900 RM(J)=RM(J)*Z
0901 GO TO 10
0902 20 RM(J)=0.
0903 10 CONTINUE
0904 N=2*NA-1-KK
0905 DO 50 J=1,NA
0906 IF(KT(J).LE.0.AND.J.NE.IS) GO TO 60
0907 DO 70 M=2,NA
0908 I=M-1
0909 IF(M.EQ.J) GO TO 80
0910 RM(J)=RM(J)+EJ(I,N)*((G(M,J)*E(J,K)+3(M,J)*E(J,L))*E(M,K)+(G(M,J)*
0911 *E(J,L)-3(M,J)*E(J,K))*E(M,L))
0912 GO TO 70
0913 80 RM(J)=RM(J)+EJ(I,N)*((P(J,K)/BASE)+G(J,J)*E(J,K)**2+E(J,L)**2)
0914 70 CONTINUE
0915 60 CONTINUE
0916 DO 90 J=1,NA
0917 IF(KT(J).LE.0.AND.J.NE.IS) GO TO 90
0918 I=NA
0919 DO 100 M=2,NA
0920 IF(M.EQ.J) GO TO 95
0921 IF(KT(M).NE.1) GO TO 110
0922 IF(KC(M).EQ.0) GO TO 100
0923 110 RM(J)=RM(J)+EJ(I,N)*((G(M,J)*E(J,K)+3(M,J)*E(J,L))*E(M,L)-(G(M,J)*
0924 *E(J,L)-3(M,J)*E(J,K))*E(M,K))
0925 I=I+1
0926 GO TO 100
0927 95 IF(KC(M).EQ.0) GO TO 100
0928 I=I+1
0929 100 CONTINUE

```




```
0931 DO 120 I=1,NA
0932 IF(KT(I).LE.0.AND.I.NE.IS)GO TO 120
0933 RM(I)=RM(I)/SQRT(E(I,K)**2+E(I,L)**2)
0934 120 CONTINUE
0935 RETURN
0936 END

** NO ERRORS**      PROGRAM = 01094      COMMON = 08740
```



```

0937 SUBROUTINE GRPG
0938 COMMON PL(20,20,2),P(20,2),E(20,2),AC(20,20),EJ(40,40)
0939 COMMON B(20,20),G(20,20),RM(20),A(20),CX(38),XX(38)
0940 COMMON RPY(20),RPI(20),VE(20),PA(20,2),OSH(20),PC(20),QC(20),Q(20)
0941 COMMON CA(20),CB(20),CC(20),PG(20),PGX(20),PGMY(20),VX(20),VN(20)
0942 COMMON SA(20),SV(20),SP(20),SQ(20),ST(20),TETA(20),VARV(6)
0943 COMMON NME(20,4),LOC(38),KT(20),KC(20),KF(20),IFPOT(10)
0944 COMMON TOR,TOI,TOV,BASE,Z,ANG,AM,BY
0945 COMMON K,L,NV,KX,NCAS,JAC,MY,NA,IS,VASE,LE,IMPR
0946 SUBROUTINE PARA CALCULO DO GRADIENTE COM RESPEITO A VARIÁVEL DE CONTROLE P
0947 N=2*NA-1-KK
0948 DO 10 I=1,NA
0949 A(I)=0.
0950 M=I-1
0951 IF(I.NE.IS)A(I)=-EJ(M,N)
0952 IF(KT(I).LE.0.AND.I.NE.IS)GO TO 20
0953 IF(IFPOT(2).EQ.1) GO TO 5
0954 A(I)=A(I)+(CB(I)+2.*CC(I)*PG(I))*BASE
0955 GO TO 10
0956 5 A(I)=A(I)+BASE
0957 GO TO 10
0958 20 A(I)=0.
0959 10 CONTINUE
0960 RETURN
0961 END

```

```

** NO ERRORS**      PROGRAM = 00223      COMMON = 08740

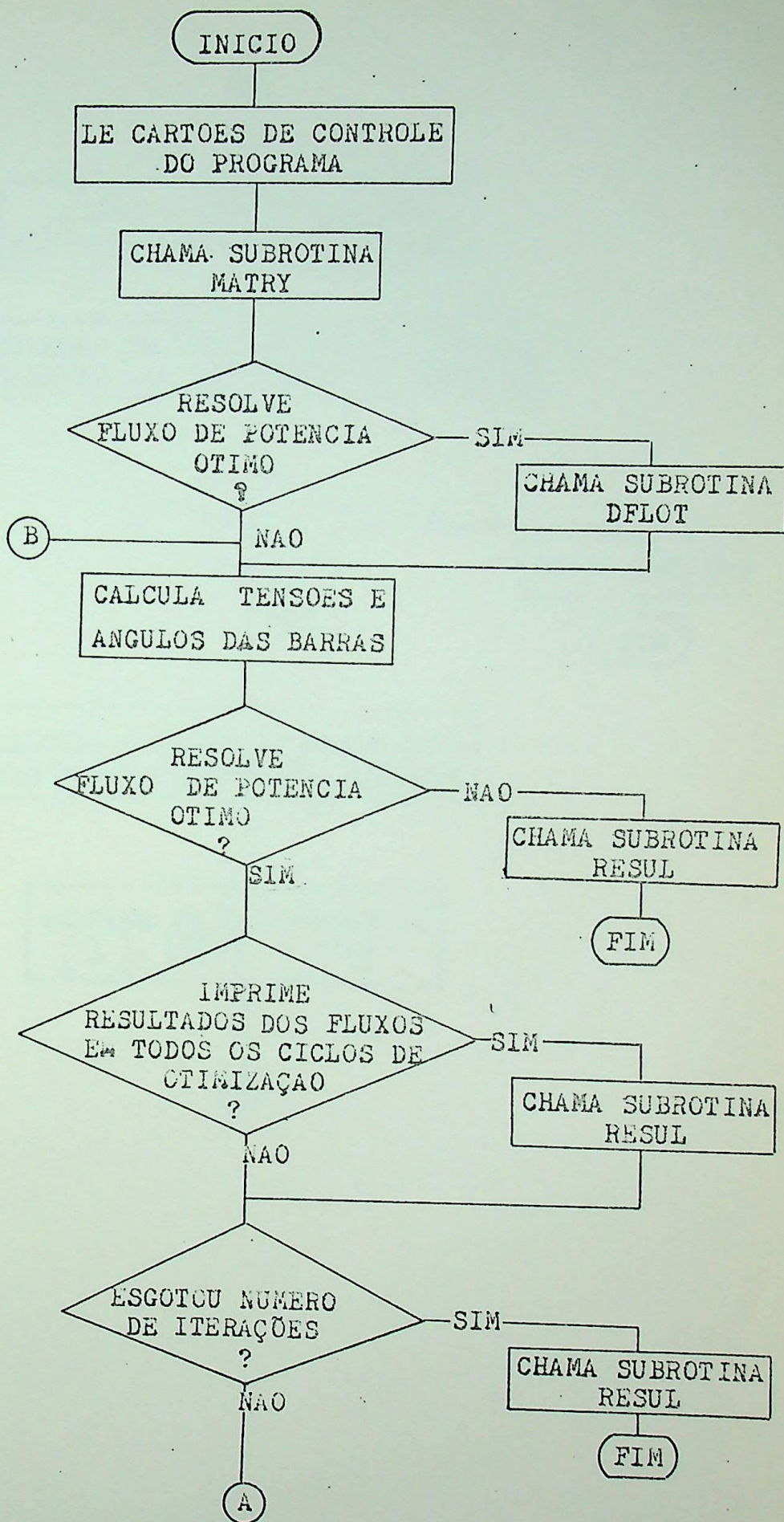
```

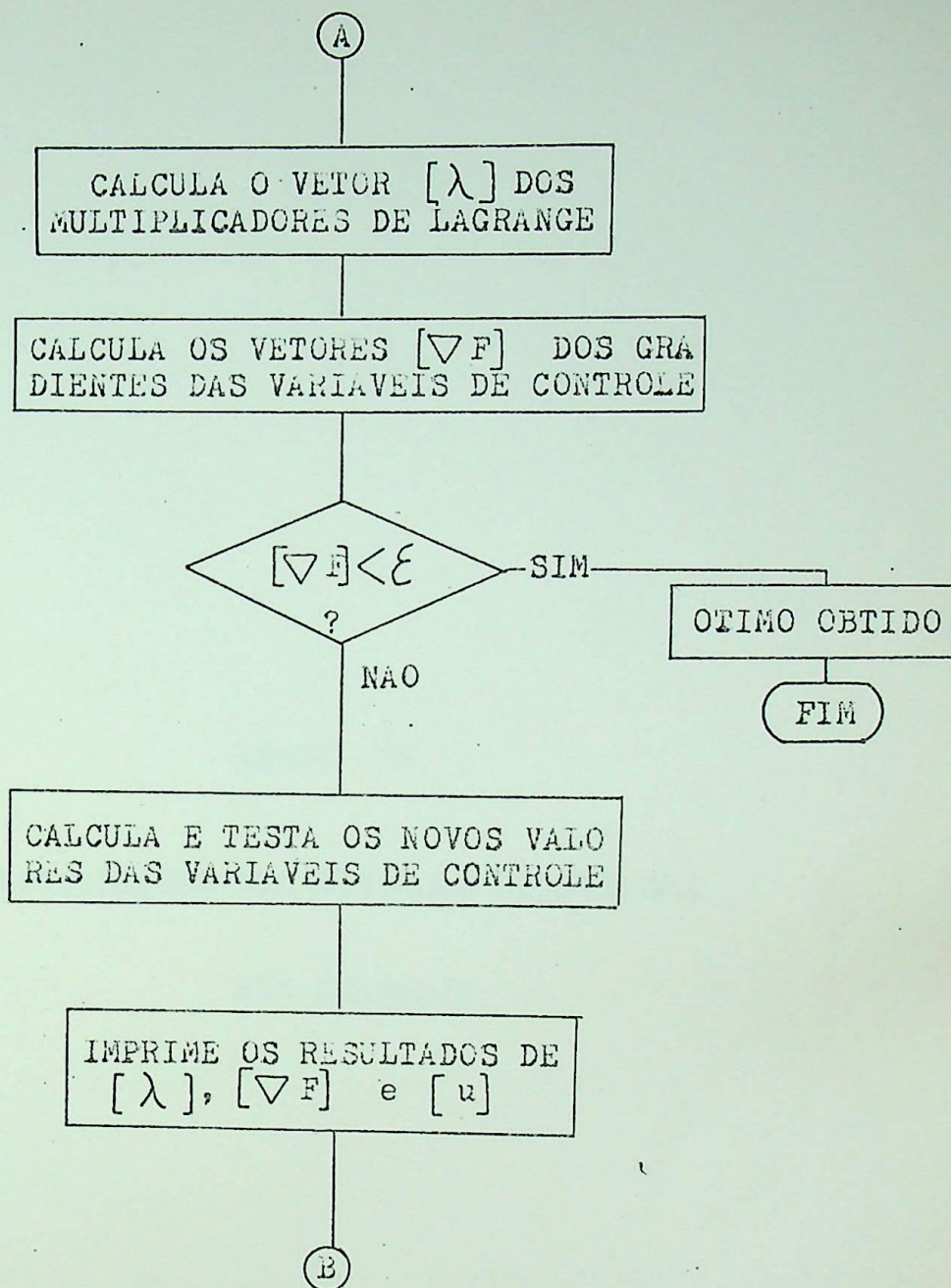

ENDS

0962

ANEXO III

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROGRAMA

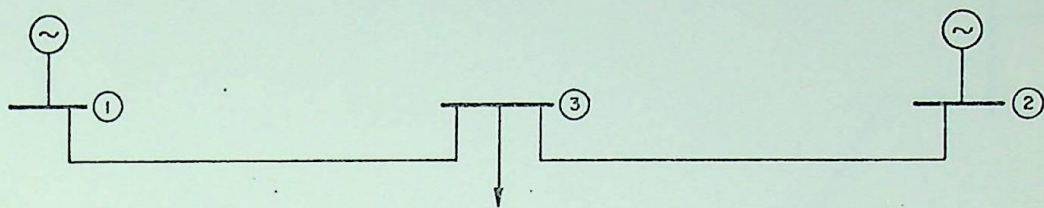




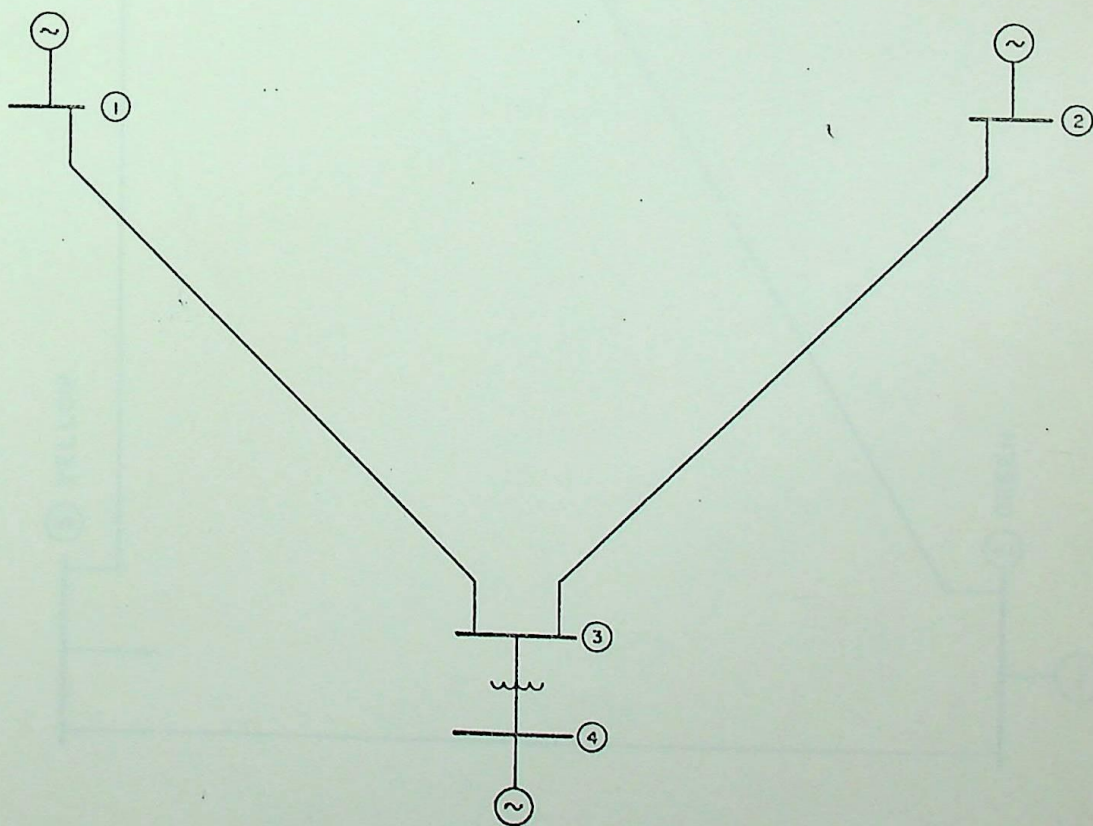
ANEXO IV

CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS UTILIZADOS

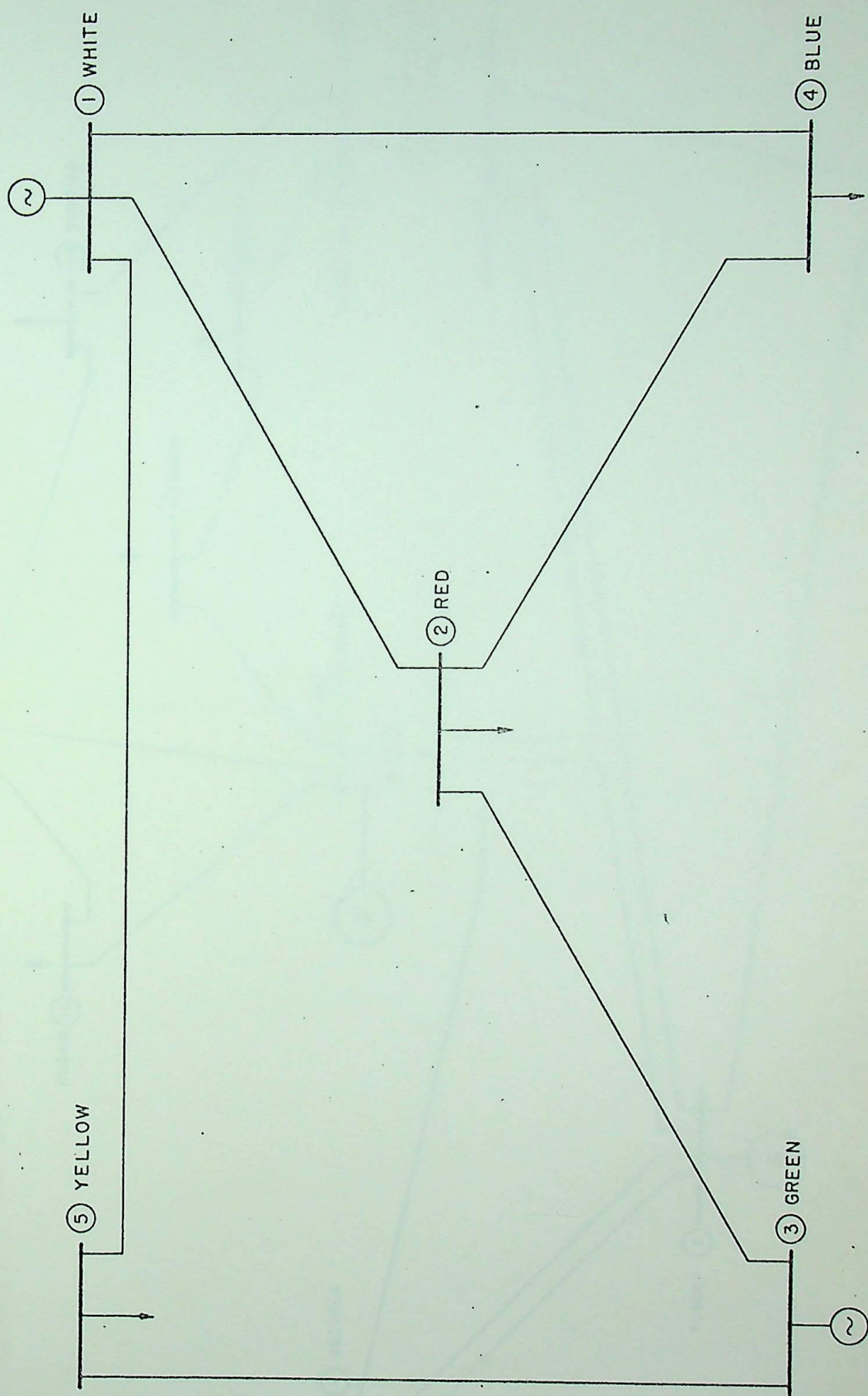
NOS EXEMPLOS



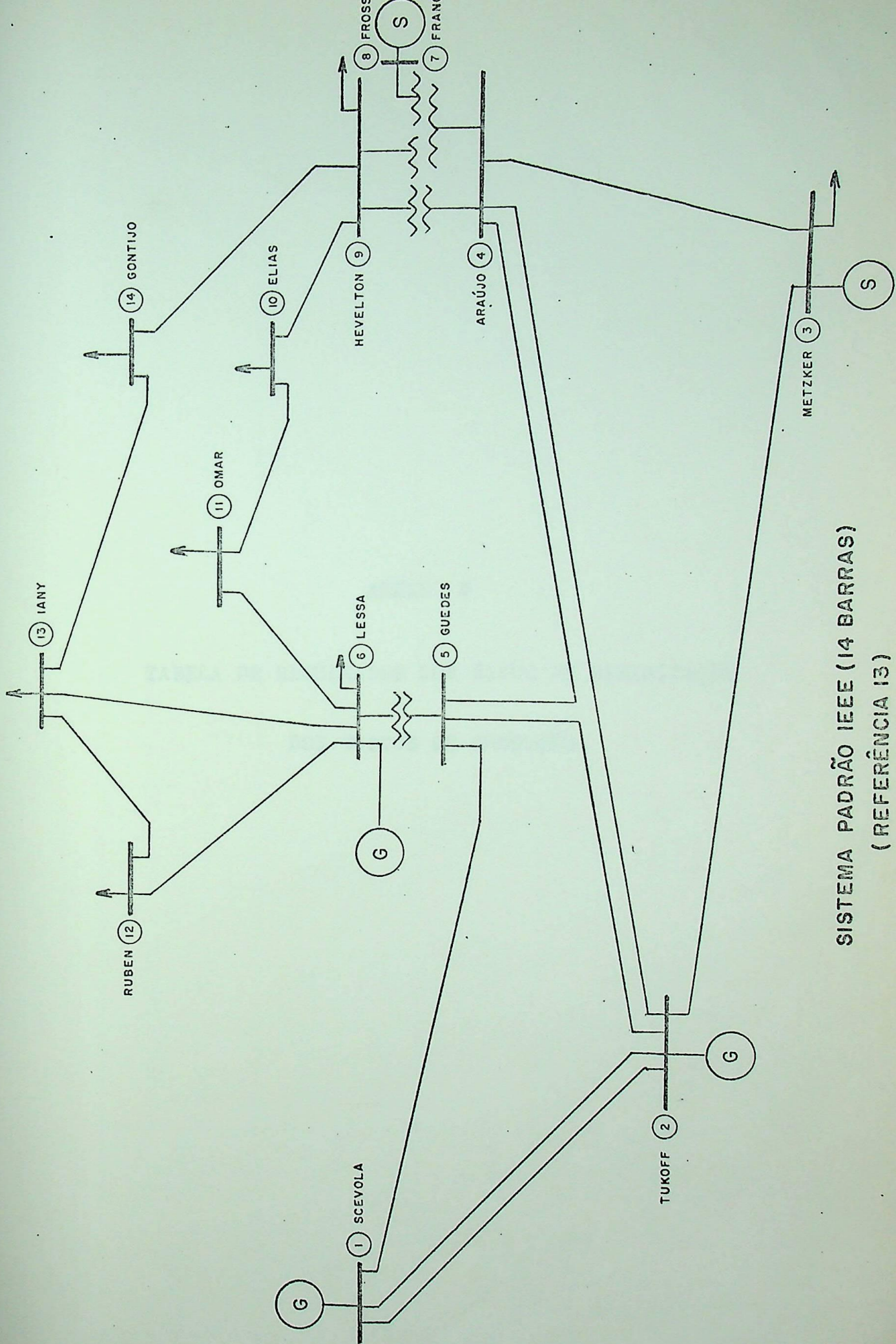
SISTEMA 3 BARRAS



SISTEMA 4 BARRAS



SISTEMA 5 BARRAS (referência 25)



SISTEMA PADRÃO IEEE (14 BARRAS)
(REFERÊNCIA 13)

ANEXO V

TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS DE MINIMIZAÇÃO
DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

CASO	SISTEMA	VARIAV. DE CONTRO- LE (u)	CORREÇ. α_v	CORREÇ. α_{PG}	F U N Ç Ã O O B J E T I V O - \$ - (I t e r a ç õ e s)									
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5 barras	V_i, PG_i	.00050	.15	773.5	765.3	761.4	759.5	758.5	757.8	757.1	757.2	757.2	757.2
2	"	V_i	.00050	-	773.5	772.9	772.4	771.9	771.4	771.0	770.5	770.4	770.4	770.6
3	"	PG_i	-	.15	773.5	765.2	762.7	761.6	761.2	761.0	760.9	760.9	760.9	760.9
4	14 barras	V_i, PG_i	.00015	.30	1175.2	1183.8	1139.4	1136.6	1135.6	1134.9	1134.5	1134.2	1133.9	1133.7
5	"	V_i	.00015	-	1175.2	1173.7	1172.6	1171.7	1170.7	1170.1	1169.5	1169.2	1169.0	1169.0
6	"	PG_i	-	.30	1175.2	1183.8	1139.6	1137.5	1136.6	1136.2	1136.1	1136.0	1136.2	1136.1
7	"	V_i	.00050	-	1175.2	1174.2	1177.7	1175.7	1170.2	1170.4	1168.2	1169.5	1168.8	1169.7
8	"	PG_i	-	.15	1175.2	1173.4	1150.8	1143.9	1140.9	1139.2	1138.2	1137.5	1137.0	1136.7

ANEXO VI

LISTAGEM DE COMPUTADOR DOS RESULTADOS DO CASO 4

(MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO)

BARRA COMPENSACAO = 1
P TOLERANCIA = .010000
Q TOLERANCIA = .010000
V TOLERANCIA = .010000
BASE MVA = 100.00

DADOS DE LINHA EM (P. J.)

BARRA	NOVE	BARRA	NOVE	RESISTENCIA	REATANCIA	SUSCEPTANCIA	TAPES (TRAFO)
1	SCEVOLA	2	TUKOFF	.01938	.05917	.02640	.00000
1	SCEVOLA	5	SUEDES	.05403	.22304	.02460	.00000
2	TUKOFF	3	MEZKER	.04699	.19797	.02190	.00000
2	TUKOFF	4	ARAUJO	.05811	.17632	.01870	.00000
2	TUKOFF	5	SUEDES	.05595	.17388	.01700	.00000
3	MEZKER	4	ARAUJO	.06701	.17103	.01730	.00000
4	ARAUJO	5	SUEDES	.01335	.04221	.00640	.00000
4	ARAUJO	7	FRANCA	.00000	.20912	.00000	.00000
4	ARAUJO	9	HEVELTON	.00000	.55618	.00000	.00000
5	SUEDES	5	LESSA	.00000	.25202	.00000	.00000
6	LESSA	11	OMAR	.09498	.19890	.00000	.00000
6	LESSA	12	RUBEN	.12291	.25581	.00000	.00000
6	LESSA	13	IANY	.06515	.13027	.00000	.00000
7	FRANCA	9	FROSSARD	.00000	.17615	.00000	.00000
7	FRANCA	9	HEVELTON	.00000	.11001	.00000	.00000
9	HEVELTON	10	ELIAS	.03181	.08450	.00000	.00000
9	HEVELTON	14	SONTILJO	.12711	.27038	.00000	.00000
10	ELIAS	11	OMAR	.08205	.19207	.00000	.00000
12	RUBEN	13	IANY	.22092	.19988	.00000	.00000
13	IANY	14	SONTILJO	.17093	.34802	.00000	.00000

BARRA DE COMPEVSAÇÃO

TENSAO
(P.U.)

1.06000

1 SCEVOLA

BARRAS DE GERACAO

BARRA

NOME

TENSAO
(P.U.)

P.ATIVA
(MW)

P.REAT(MAX)
(MVAR)

P.REAT(MIN)
(MVAR)

2 TUKOFF
3 METZKER
6 LESSA
8 FROSSARD

1.04500
1.01000
1.07000
1.09000

40.000
.000
.000
.000

50.000
60.000
45.000
45.000

-40.000
-40.000
-5.000
-6.000

BARRAS DE CARGA

BARRA

NOME

TENSAO
(P.U.)

P.ATIVA
(MW)

P.REATIVA
(MVAR)

REAT/CAPAC
(MVAR)

1 SCEVOLA
2 TUKOFF
3 METZKER
4 ARAUJO
5 GJEDES
6 LESSA
7 FRANCA
8 FROSSARD
9 HEVELTON
10 ELIAS
11 OMAR
12 RJZEN
13 IANY
14 GUNILUJ

1.06000
1.04500
1.01000
1.00000
1.00000
1.07000
1.00000
1.09000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000

.000
21.700
94.200
47.800
7.600
11.200
.000
.000
29.500
9.000
3.500
6.100
13.500
14.900

.000
12.700
19.000
-3.900
1.500
7.500
.000
.000
16.600
5.800
1.800
1.500
5.900
5.000

.000
.000
.000
.000
.000
.000
.000
.000
19.000
.000
.000
.000
.000
.000

TOLERANCIA DO GRADIENTE DE TENSÃO = 50000
 TOLERANCIA DO GRADIENTE DE POTÊNCIA = 1.00000
 FATOR DE CORREÇÃO DO GRADIENTE DE TENSÃO = -.00015
 FATOR DE CORREÇÃO DO GRADIENTE DE POTÊNCIA = -.30000
 NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES PERMITIDAS
 NA SOLUÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA OTIMO = 10

FUNÇÃO OBJETIVO - MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO
 VARIÁVEIS DE CONTROLE - TENSÃO E POTÊNCIA DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA	NOME	DADOS DE BARRA					FJNCAO A (R)	DE CUSTO		FATORES DE		PENALIZACAO	
		VMAX (P.J.)	VMIN (P.J.)	PGMAX (MW)	PGMIN (MW)			B (\$/MW)	C (\$/MW ²)	TENSAO	POTENC	ANGULO	TAPE
1	SCEVOLA	1.100	1.000	200.0	50.0		105.000	2.450	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
2	TUKOFF	1.100	1.000	100.0	20.0		44.400	3.510	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
3	METZKER	1.100	1.000	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
4	ARAJJO	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
5	GUEDES	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
6	LESSA	1.100	1.000	100.0	20.0		40.500	3.890	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
7	FRANCA	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
8	FRUSSARD	1.100	1.000	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
9	HEVELTON	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
10	ELIAS	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
11	OMAR	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
12	RUBEN	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
13	IANY	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
14	GONTIJO	1.100	.900	.0	.0		.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

TENSOES E POTENCIAS DAS BARRAS

BARRA	VOME	TENSAO (P.U.)	ANGULO (GRAUS)	PSER (MW)	QGER (MVAR)	PCARGA (MW)	QCARGA (MVAR)	REAT/CAPAC (MVAR)
1	SCEVOLA	1.0500	.01	231.8	-20.2	.0	.0	.0
2	TUKOFF	1.0450	-4.94	40.0	32.5	21.7	12.7	.0
3	WETZKER	1.0100	-12.60	.0	19.2	94.2	19.0	.0
4	ARAUJO	1.0290	-10.39	.0	.0	47.8	-3.9	.0
5	GUEDES	1.0342	-3.92	.0	.0	7.6	1.6	.0
6	LESSA	1.0700	-14.60	.0	39.8	11.2	7.5	.0
7	FRANCA	1.0558	-13.51	.0	.0	.0	.0	.0
8	FROSSARD	1.0900	-13.51	.0	.0	.0	.0	.0
9	HEVELTON	1.0496	-15.12	.0	21.2	.0	.0	.0
10	ELIAS	1.0459	-15.31	.0	.0	29.5	16.6	20.9
11	OMAR	1.0546	-15.08	.0	.0	9.0	5.8	.0
12	RJREN	1.0554	-15.44	.0	.0	3.5	1.8	.0
13	IANY	1.0501	-15.50	.0	.0	6.1	1.6	.0
14	GONTIJO	1.0318	-16.29	.0	.0	13.5	5.8	.0
					.0	14.9	5.0	.0

FLUXO DE POTENCIA NAS LINHAS

BARRA	PARA	BARRA	P.ATIVA(MW)	P.REATIVA(MVAR)
1	SCEVOLA	2	TUKOFF	155.666
1	SCEVOLA	5	SUEDES	76.173
2	TUKOFF	1	SCEVOLA	-151.436
2	TUKOFF	3	WETZKER	72.504
2	TUKOFF	4	ARAUJO	55.900
2	TUKOFF	5	SUEDES	41.331
3	WETZKER	2	TUKOFF	-70.226
3	WETZKER	4	ARAUJO	-23.972
4	ARAUJO	2	TUKOFF	-54.217
4	ARAUJO	3	WETZKER	24.351
4	ARAUJO	5	SUEDES	-62.219
4	ARAUJO	7	FRANCA	28.270
4	ARAUJO	9	HEVELTON	-16.003
5	GUEDES	1	SCEVOLA	-73.383
5	GUEDES	2	TUKOFF	-40.424
5	GUEDES	4	ARAUJO	62.715
5	GUEDES	6	LESSA	43.478
6	LESSA	5	SUEDES	-43.478
6	LESSA	11	OMAR	7.108
6	LESSA	12	RJREN	7.659
6	LESSA	13	IANY	17.454
7	FRANCA	4	ARAUJO	-28.270
7	FRANCA	8	FROSSARD	.000
7	FRANCA	9	HEVELTON	28.255
8	FROSSARD	7	FRANCA	-.000
9	HEVELTON	4	ARAUJO	-16.003
9	HEVELTON	7	FRANCA	-28.255
9	HEVELTON	10	ELIAS	-18.637
9	HEVELTON	11	OMAR	-1.604
9	HEVELTON	12	RJREN	28.628
9	HEVELTON	13	IANY	4.829
9	HEVELTON	14	GONTIJO	-7.220
9	HEVELTON	15	ELIAS	-6.447
9	HEVELTON	16	OMAR	2.454
9	HEVELTON	17	FRANCA	-2.276
9	HEVELTON	18	FROSSARD	10.316
9	HEVELTON	19	HEVELTON	1.444
9	HEVELTON	20	HEVELTON	7.679
9	HEVELTON	21	HEVELTON	-12.392
9	HEVELTON	22	HEVELTON	-3.153
9	HEVELTON	23	HEVELTON	10.424
9	HEVELTON	24	HEVELTON	7.379
9	HEVELTON	25	HEVELTON	-6.791
9	HEVELTON	26	HEVELTON	-12.552
9	HEVELTON	27	HEVELTON	17.377
9	HEVELTON	28	HEVELTON	4.915
9	HEVELTON	29	HEVELTON	2.457
9	HEVELTON	30	HEVELTON	7.570
9	HEVELTON	31	HEVELTON	14.264
9	HEVELTON	32	HEVELTON	-20.523
9	HEVELTON	33	HEVELTON	6.254
9	HEVELTON	34	HEVELTON	21.199
9	HEVELTON	35	HEVELTON	4.551
9	HEVELTON	36	HEVELTON	-5.437

12	RUBEN	6	LESSA	-7.619	5.221
12	RUBEN	13	IANY	1.647	-2.311
13	IANY	6	LESSA	-17.245	.971
13	IANY	12	RUBEN	-1.640	-7.158
13	IANY	14	GONTIJO	5.635	-.964
14	GONTIJO	9	HEVELTON	-9.307	2.786
14	GONTIJO	13	IANY	-5.574	-2.344
					-2.661

PERDAS NO SISTEMA

POTENCIA ATIVA (W)	POTENCIA REATIVA (WVAR)
-----------------------	----------------------------

13.31032	19.96229
----------	----------

ITERACAO = 0
FUNCAO OBJETIVO = 1175.153 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PUV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-117.355	-	1.0776	-
2	TJKOFF	502.796	.000	-3.276	-111.796	1.0455	73.54
3	WEIZKER	541.219	.000	-22.036	-541.219	1.0133	.00
4	ARAUJO	529.380	-1.399	.000	.000	1.0290	.00
5	SJEDES	521.142	-.569	.000	.000	1.0342	.00
6	LESSA	521.812	.000	13.470	-40132.8	1.0680	100.00
7	FRANCA	528.941	.419	.000	.000	1.0558	.00
8	FRROSSARD	528.940	.000	-2.509	-528.940	1.0904	.00
9	HEVELTON	528.799	1.643	.000	.000	1.0496	.00
10	ELIAS	530.523	3.256	.000	.000	1.0459	.00
11	OMAR	527.824	2.504	.000	.000	1.0546	.00
12	RJBEV	530.034	2.353	.000	.000	1.0554	.00
13	IANY	532.734	4.203	.000	.000	1.0501	.00
14	SONTIJO	541.530	6.720	.000	.000	1.0318	.00

ITERACAO = 1
FUNCAO OBJETIVO = 1183.826 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PUV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	87.761	-	1.0644	-
2	TJKOFF	343.073	.000	-111.853	81.455	1.0623	49.60
3	WEIZKER	366.184	.000	-18.180	-366.184	1.0160	.00
4	ARAUJO	354.250	-1.148	.000	.000	1.0414	.00
5	SJEDES	347.801	-.636	.000	.000	1.0505	.00
6	LESSA	339.167	.000	-7.222	149.833	1.0691	55.06
7	FRANCA	358.904	-.551	.000	.000	1.0550	.00
8	FRROSSARD	358.904	.000	3.301	-358.904	1.0899	.00
9	HEVELTON	361.359	-.661	.000	.000	1.0402	.00
10	ELIAS	350.110	.927	.000	.000	1.0359	.00
11	OMAR	351.412	1.400	.000	.000	1.0465	.00
12	RJBEV	345.162	1.763	.000	.000	1.0532	.00
13	IANY	349.395	2.883	.000	.000	1.0452	.00
14	SONTIJO	363.952	3.751	.000	.000	1.0231	.00

ITERACAO = 2
FUNCAO OBJETIVO = 1139.379 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PUV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-55.615	-	1.0728	-
2	TJKOFF	423.753	-2.195	71.379	-23.149	1.0504	56.55
3	WEIZKER	452.823	.000	-23.547	-452.823	1.0196	.00

1.0546
1.0482
1.0297

0.00
0.00
0.00

0.00
0.00
0.00

2.044
3.355
4.493

434.266
438.165
451.314

RJBEV
IANV
GONTIJO

12
13
14

ITERACAO = 3
FUNCAO OBJETIVO = 1136.640 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PJV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLO	-	-	2.316	-	1.0724	-
2	TUCKOFF	420.441	0.000	-64.024	-12.892	1.0600	60.42
3	WETZKER	450.421	0.000	-12.557	-450.421	1.0215	0.00
4	ARAJJO	438.047	-1.175	0.000	0.000	1.0403	0.00
5	SUEDES	430.653	-0.637	0.000	0.000	1.0472	0.00
6	LESSA	425.521	0.000	0.740	13.434	1.0686	45.94
7	FRANCA	440.755	-0.239	0.000	0.000	1.0575	0.00
8	ROSSARD	440.755	0.000	1.437	-440.755	1.0891	0.00
9	HEVELTON	442.191	0.018	0.000	0.000	1.0473	0.00
10	ELIAS	442.117	1.612	0.000	0.000	1.0430	0.00
11	OMAR	435.631	1.631	0.000	0.000	1.0516	0.00
12	RJBEV	432.693	2.047	0.000	0.000	1.0542	0.00
13	IANV	436.430	3.400	0.000	0.000	1.0478	0.00
14	GONTIJO	449.024	4.786	0.000	0.000	1.0291	0.00

ITERACAO = 4
FUNCAO OBJETIVO = 1135.583 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PJV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLO	-	-	-48.109	-	1.0797	-
2	TUCKOFF	421.178	0.000	2.357	-9.756	1.0597	63.35
3	WETZKER	450.575	0.000	-26.302	-450.575	1.0254	0.00
4	ARAJJO	438.812	-0.934	0.000	0.000	1.0440	0.00
5	SUEDES	431.536	-0.349	0.000	0.000	1.0508	0.00
6	LESSA	426.822	0.000	-1.375	8.114	1.0588	43.49
7	FRANCA	441.299	-0.202	0.000	0.000	1.0594	0.00
8	ROSSARD	441.299	0.000	1.219	-441.299	1.0989	0.00
9	HEVELTON	442.517	-0.025	0.000	0.000	1.0494	0.00
10	ELIAS	442.666	1.550	0.000	0.000	1.0448	0.00
11	OMAR	436.534	1.570	0.000	0.000	1.0526	0.00
12	RJBEV	433.985	2.049	0.000	0.000	1.0542	0.00
13	IANV	437.505	3.372	0.000	0.000	1.0481	0.00
14	GONTIJO	449.753	4.730	0.000	0.000	1.0305	0.00

ITERACAO = 5
FUNCAO OBJETIVO = 1134.918 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUMW	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PJV	GRADIENTE P \$/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLO	-	-	-48.109	-	1.0797	-
2	TUCKOFF	421.178	0.000	2.357	-9.756	1.0597	63.35
3	WETZKER	450.575	0.000	-26.302	-450.575	1.0254	0.00
4	ARAJJO	438.812	-0.934	0.000	0.000	1.0440	0.00
5	SUEDES	431.536	-0.349	0.000	0.000	1.0508	0.00
6	LESSA	426.822	0.000	-1.375	8.114	1.0588	43.49
7	FRANCA	441.299	-0.202	0.000	0.000	1.0594	0.00
8	ROSSARD	441.299	0.000	1.219	-441.299	1.0989	0.00
9	HEVELTON	442.517	-0.025	0.000	0.000	1.0494	0.00
10	ELIAS	442.666	1.550	0.000	0.000	1.0448	0.00
11	OMAR	436.534	1.570	0.000	0.000	1.0526	0.00
12	RJBEV	433.985	2.049	0.000	0.000	1.0542	0.00
13	IANV	437.505	3.372	0.000	0.000	1.0481	0.00
14	GONTIJO	449.753	4.730	0.000	0.000	1.0305	0.00

5	GUERES	430.557	- .310	.000	.000	1.0524	.00
6	LESSA	426.214	.000	-1.540	6.278	1.0690	41.61
7	FRANCA	440.153	.175	.000	.000	1.0601	.00
8	FRROSSARD	440.153	.000	1.054	-440.153	1.0887	.00
9	HEVELTON	441.326	.007	.000	.000	1.0504	.00
10	ELIAS	441.524	1.549	.000	.000	1.0457	.00
11	OMAR	435.535	1.553	.000	.000	1.0532	.00
12	RJ3EN	433.344	2.040	.000	.000	1.0545	.00
13	IANY	436.878	3.352	.000	.000	1.0485	.00
14	GUNTJJO	443.703	4.712	.000	.000	1.0312	.00

ITERACAO =		FUNCAO OBJETIVO =		1134.485 (\$)		6	
BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUYH	LAMBDA Q \$/PUYH	GRADIENTE V \$/PUY	GRADIENTE P \$/PUYH	NOVO V PU	NOVO P MY
1	SCEVOLA	-	-	-36.704	-	1.0862	-
2	TUKOFF	420.335	.000	-6.876	-4.353	1.0676	66.28
3	WEIZKER	449.586	.000	-25.055	-449.586	1.0319	.00
4	ARAUJO	438.305	-649	.000	.000	1.0489	.00
5	SUEDES	431.215	-087	.000	.000	1.0556	.00
6	LESSA	425.954	.000	-3.399	3.541	1.0695	40.51
7	FRANCA	440.552	-146	.000	.000	1.0617	.00
8	FRUSSARD	440.552	.000	.980	-440.552	1.0886	.00
9	HEVELTON	441.741	-046	.000	.000	1.0521	.00
10	ELIAS	441.925	1.500	.000	.000	1.0472	.00
11	OMAR	436.201	1.511	.000	.000	1.0541	.00
12	RJSEN	434.039	2.043	.000	.000	1.0548	.00
13	IANY	437.568	3.333	.000	.000	1.0489	.00
14	GONTIJO	449.179	4.668	.000	.000	1.0325	.00

ITERACAO = 7		FUNCAO OBJETIVO = 1134.173 (\$)					
BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PUM	LAMBDA Q \$/PUMVAR	GRADIENTE V \$/PUV	GRADIENTE P \$/PUM	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-12.398	-	1.0881	-
2	TJOFF	419.547	.000	-35.247	-2.254	1.0729	66.95
3	MEITZER	448.580	.000	-19.531	-448.850	1.0348	.00
4	ARAJJO	437.582	-549	.000	.000	1.0508	.00
5	SUEDES	430.554	.018	.000	.000	1.0576	.00
6	LESSA	426.538	.000	-3.975	2.972	1.0701	39.52
7	FRANCA	439.559	-121	.000	.000	1.0626	.00
8	FOUSSARD	439.559	.000	.728	-439.555	1.0885	.00
9	REVELION	441.025	-042	.000	.000	1.0533	.00
10	ELIAS	441.243	1.492	.000	.000	1.0483	.00
11	OMAR	435.535	1.497	.000	.000	1.0549	.00
12	RJSEN	433.539	2.038	.000	.000	1.0554	.00
13	IANY	437.075	3.317	.000	.000	1.0496	.00
14	SANTUJO	444.526	4.649	.000	.000	1.0334	.00

1	SCEVOLA	-	-29.745	1.0925	-	1.0925
2	TUKOFF	.000	-12.148	1.0747	-1.948	1.0747
3	METZKER	.000	-23.334	1.0383	-448.932	1.0383
4	ARAUJO	-385	.000	1.0538	.000	1.0538
5	GUEDES	.153	.000	1.0606	.000	1.0606
6	LESSA	.000	-5.452	1.0709	1.702	1.0709
7	FRANCA	-092	.000	1.0641	.000	1.0641
8	FRUSSARD	.000	.558	1.0884	-440.068	1.0884
9	HEVELTON	-065	.000	1.0549	.000	1.0549
10	ELIAS	1.440	.000	1.0497	.000	1.0497
11	OWAR	1.471	.000	1.0560	.000	1.0560
12	RUBEN	2.040	.000	1.0560	.000	1.0560
13	IANY	3.303	.000	1.0503	.000	1.0503
14	GONTIJO	4.617	.000	1.0347	.000	1.0347

ITERACAO = 9
 FUNCAO OBJETIVO = 1133.674 (\$)

BARRA	NOME	LAMBDA P \$/PU*W	LAMBDA Q \$/PU*W*W	GRADIENTE V \$/PJV	GRADIENTE P \$/PU*W*W	NOVO V PJ	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-15.321	-	1.0948	-
2	TUKOFF	419.468	.000	-28.547	-.921	1.0790	67.82
3	METZKER	448.465	.000	-19.802	-448.466	1.0413	.00
4	ARAUJO	437.515	-.283	.000	.000	1.0560	.00
5	GUEDES	430.590	.230	.000	.000	1.0528	.00
6	LESSA	426.617	.000	-6.097	1.487	1.0718	38.66
7	FRANCA	439.632	-.065	.000	.000	1.0652	.00
8	FRUSSARD	439.632	.000	.392	-439.632	1.0384	.00
9	HEVELTON	440.750	-.059	.000	.000	1.0561	.00
10	ELIAS	441.008	1.457	.000	.000	1.0509	.00
11	OWAR	435.544	1.462	.000	.000	1.0570	.00
12	RUBEN	433.688	2.056	.000	.000	1.0569	.00
13	IANY	437.070	3.290	.000	.000	1.0513	.00
14	GONTIJO	448.317	4.603	.000	.000	1.0358	.00

TENSOES E POTENCIAS DAS BARRAS

BARRA	NOME	TENSÃO (P.U.)	ÂNGULO (GRAUS)	PGR (MW)	QGR (MVAR)	PCARGA (MW)	QCARGA (MVAR)	REAT/CAPAC (MVAR)
1	SCEVOLA	1.0948	.01	161.1	-1.8	.0	.0	.0
2	TUKOFF	1.0790	-3.05	67.8	20.7	21.7	12.7	.0
3	MEIZKER	1.0413	-9.80	.0	17.4	94.2	19.0	.0
4	ARAUJO	1.0538	-7.34	.0	.0	47.8	-3.9	.0
5	GUEDES	1.0656	-5.99	.0	.0	7.6	1.6	.0
6	LESSA	1.0718	-8.09	38.7	18.4	11.2	7.5	.0
7	FRANCA	1.0656	-9.59	.0	.0	.0	.0	.0
8	FRROSSARD	1.0884	-9.59	.0	13.5	.0	.0	.0
9	HEVELTON	1.0577	-10.77	.0	.0	29.5	16.6	21.3
10	ELIAS	1.0524	-10.59	.0	.0	9.0	5.8	.0
11	OMAR	1.0582	-9.49	.0	.0	3.5	1.8	.0
12	RJSEN	1.0579	-9.10	.0	.0	6.1	1.6	.0
13	IANY	1.0523	-9.32	.0	.0	13.5	5.8	.0
14	GONTIJO	1.0372	-11.14	.0	.0	14.9	5.0	.0

FLUXO DE POTENCIA NAS LINHAS

BARRA	PARA	BARRA	P.ATIVA(MW)	P.REATIVA(MVAR)
1	SCEVOLA	2	105.614	-4.100
1	SCEVOLA	5	55.506	2.281
2	TUKOFF	1	-103.809	6.491
2	TUKOFF	3	68.688	6.940
2	TUKOFF	4	47.942	-2.716
2	TUKOFF	5	33.302	-2.700
3	MEIZKER	2	-66.756	-1.265
3	MEIZKER	4	-27.443	-2.286
4	ARAUJO	2	-45.793	4.064
4	ARAUJO	3	27.909	-4.33
4	ARAUJO	5	-62.141	3.059
4	ARAUJO	7	21.180	-3.514
4	ARAUJO	9	12.051	.572
5	GUEDES	1	-54.111	.608
5	GUEDES	2	-32.758	2.406
5	GUEDES	4	62.602	-2.324
5	GUEDES	6	15.670	-2.331
6	LESSA	5	-16.670	2.950
6	LESSA	11	14.253	.705
6	LESSA	12	8.615	1.740
6	LESSA	13	21.258	5.483
7	FRANCA	8	-21.180	4.374
7	FRANCA	9	.000	-13.183
8	FRROSSARD	7	21.180	8.820
9	HEVELTON	4	.000	13.452
9	HEVELTON	7	-12.051	.150
9	HEVELTON	10	-21.180	-8.311
9	HEVELTON	14	-1.486	7.239

12 RUBEN	13 IANY	2.432	1.269
13 IANY	6 LESSA	-20.981	-4.937
13 IANY	12 RUBEN	-2.420	-2.259
13 IANY	14 GONTIJO	9.901	-1.138
14 GONTIJO	9 HEVELTON	-5.150	-5.445
14 GONTIJO	13 IANY	-9.750	.446

PERDAS NO SISTEMA

POTENCIA ATIVA (MW)	POTENCIA REATIVA (MVAR)
8.60732	-4.47556

ANEXO VII

TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS
DE MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS

CASO	SISTEMA	VARIÁV. DE CONTRO- LE (u)	CORREÇ. α_V	CORREÇ. α_{PG}	FUNÇÃO OBJETIVO - MM - (Iterações)									
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	5 barras	V_i, PG_i	.0015	3.0	5.114	4.914	4.80	4.69	4.59	4.50	4.43	4.35	4.31	4.34
10	"	V_i	.0015	-	5.114	5.02	4.92	4.82	4.73	4.65	4.57	4.49	4.46	4.48
11	"	PG_i	-	3.0	5.114	5.06	5.03	5.01	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
12	14 barras	V_i, PG_i	.0015	3.0	13.31	7.86	7.06	7.05	6.57	6.63	6.58	6.53	6.10	6.10
13	"	V_i	.0015	-	13.31	13.20	13.23	13.08	13.12	13.03	13.07	13.01	13.04	12.99
14	"	PG_i	-	3.0	13.31	7.52	7.34	7.18	7.06	6.96	6.87	6.81	6.75	6.71
15	"	V_i	.0005	-	13.31	13.09	12.93	12.80	12.68	12.57	12.47	12.38	12.33	12.30

ANEXO VIII

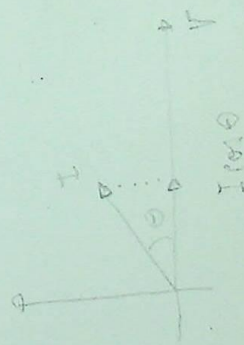
LISTAGEM DE COMPUTADOR DOS RESULTADOS DO CASO 12

(MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS)

CASO NUMERO 1

BARRA COMPENSACAO = 1
P TOLERANCIA = .010000
Q TOLERANCIA = .010000
V TOLERANCIA = .010000
BASE MVA = 100.00

DADOS DE LINHA EM (P. U.)						
BARRA	VOME	BARRA	VOME	RESISTENCIA	REATANCIA	SUSCEPTANCIA
1	SCEVULA	2	TUKOFF	.01938	.05917	.02640
1	SCEVULA	5	GUEDES	.05403	.22304	.02450
2	TUKOFF	3	MEIZKER	.04599	.19797	.02190
2	TUKOFF	4	ARAUJO	.05811	.17632	.01870
2	TUKOFF	5	GUEDES	.05695	.17384	.01700
3	MEIZKER	4	ARAUJO	.06701	.17103	.01730
4	ARAUJO	5	GUEDES	.01335	.04221	.00640
4	ARAUJO	7	FRANCA	.00000	.20912	.00000
4	ARAUJO	9	HEVELTON	.00000	.55619	.00000
5	GUEDES	5	LESSA	.00000	.25202	.00000
6	LESSA	11	OMAR	.09498	.19890	.00000
6	LESSA	12	RUBEN	.12291	.25581	.00000
6	LESSA	13	IANY	.05515	.13027	.00000
7	FRANCA	8	FROSSARD	.00000	.17615	.00000
7	FRANCA	9	HEVELTON	.00000	.11001	.00000
9	HEVELTON	10	ELIAS	.03181	.08450	.00000
9	HEVELTON	14	GONTIJO	.12711	.27039	.00000
10	ELIAS	11	OMAR	.08205	.19207	.00000
12	RUBEN	13	IANY	.22092	.19984	.00000
13	IANY	14	GONTIJO	.17093	.34802	.00000
						.00000



BARRA	NOME	TENSAO (P.U.)
1	SCEVOLA	1.06000

BARRAS DE GERACAO

BARRA	NOME	TENSAO (P.U.)	P.ATIVA (MW)	P.REAT(MAX) (MVAR)	P.REAT(MIN) (MVAR)
2	TUKOFF	1.04500	40.000	50.000	-40.000
3	METZKER	1.01000	.000	60.000	-40.000
5	LESSA	1.07000	.000	45.000	-6.000
9	FROSSARD	1.09000	.000	45.000	-6.000

BARRAS DE CARGA

BARRA	NOME	TENSAO (P.U.)	P.ATIVA (MW)	P.REATIVA (MVAR)	REAT/CAPAC (MVAR)
1	SCEVOLA	1.06000	.000	.000	.000
2	TUKOFF	1.04500	21.700	12.700	.000
3	METZKER	1.01000	94.200	19.000	.000
4	ARAUJO	1.00000	47.800	-3.900	.000
5	SJEDES	1.00000	7.600	1.500	.000
6	LESSA	1.07000	11.200	7.500	.000
7	FRANCA	1.00000	.000	.000	.000
9	FROSSARD	1.09000	.000	.000	.000
9	HEVELTON	1.00000	29.500	16.500	19.000
10	ELIAS	1.00000	9.000	5.900	.000
11	OMAR	1.00000	3.500	1.800	.000
12	RJBEV	1.00000	6.100	1.600	.000
13	IANY	1.00000	13.500	5.300	.000
14	CONTIJO	1.00000	14.900	5.000	.000

TOLERANCIA DO GRADIENTE DE TENSÃO = .50000
 TOLERANCIA DO GRADIENTE DE POTÊNCIA = 1.00000
 FATOR DE CORREÇÃO DO GRADIENTE DE TENSÃO = -.00150
 FATOR DE CORREÇÃO DO GRADIENTE DE POTÊNCIA = -3.00000
 NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES PERMITIDAS
 NA SOLUÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA OTIMO = 10

FUNÇÃO OBJETIVO - MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS DO SISTEMA
 VARIÁVEIS DE CONTROLE- TENSÃO E POTÊNCIA DAS BARRAS DE GERAÇÃO

BARRA	NOME	DADOS DE BARRA					DE B (\$/MW) B (\$/MW ²)	CUSTO C (\$/MW ²)	FATORES DE		PENALIZAÇÃO	
		VMAX (P.U.)	VMIN (P.U.)	PGMAX (MW)	PGMIN (MW)	FUNÇÃO A (\$)			TENSÃO	POTENC	ÂNGULO	TAPE
1	SCEVOILA	1.100	1.000	200.0	50.0	105.000	2.450	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
2	TUKOFF	1.100	1.000	100.0	20.0	44.400	3.510	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
3	METZKER	1.100	1.000	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
4	ARAJJO	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
5	GUEDES	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
6	LESSA	1.100	1.000	100.0	20.0	40.500	3.890	.005	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
7	FRANCA	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
8	FRASSARD	1.100	1.000	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
9	HEVELTON	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
10	ELIAS	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
11	OMAR	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
12	RUBEN	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
13	IANY	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
14	GONTIJO	1.100	.900	.0	.0	.000	.000	.000	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

TENSÕES E POTÊNCIAS DAS BARRAS

BARRA	NOME	TENSAO (P.U.)	ANGULO (GRAUS)	PGR (MW)	QGR (MVAR)	PCARGA (MW)	QCARGA (MVAR)	REAT/CAPAC (MVAR)
1	SCEVOLA	1.0500	.01	231.8	-20.2	.0	.0	.0
2	TUKOFF	1.0450	-4.94	40.0	32.5	21.7	12.7	.0
3	METZKER	1.0100	-12.60	.0	19.2	94.2	19.0	.0
4	ARAUJO	1.0290	-10.39	.0	.0	47.8	-3.9	.0
5	GUEDES	1.0342	-8.92	.0	.0	7.6	1.6	.0
6	LESSA	1.0700	-14.60	.0	39.8	11.2	7.5	.0
7	FRANCA	1.0558	-13.51	.0	.0	.0	.0	.0
8	FRROSSARD	1.0900	-13.51	.0	21.2	.0	.0	.0
9	HEVELTON	1.0496	-15.12	.0	.0	29.5	16.6	20.9
10	ELIAS	1.0459	-15.31	.0	.0	9.0	5.8	.0
11	OMAR	1.0546	-15.08	.0	.0	3.5	1.8	.0
12	RUBEN	1.0554	-15.44	.0	.0	6.1	1.6	.0
13	IANY	1.0501	-15.50	.0	.0	13.5	5.8	.0
14	GONTIJO	1.0318	-16.29	.0	.0	14.9	5.0	.0

FLUXO DE POTENCIA NAS LINHAS

BARRA	PARA	BARRA	P.ATIVA(MW)	P.REATIVA(MVAR)
1	SCEVOLA	2	155.665	-18.637
1	SCEVOLA	5	76.173	-1.604
2	TUKOFF	1	-151.436	28.628
2	TUKOFF	3	72.504	4.929
2	TUKOFF	4	55.900	-7.220
2	TUKOFF	5	41.331	-6.447
3	METZKER	2	-70.226	2.454
3	METZKER	4	-23.972	-2.276
4	ARAUJO	2	-54.217	10.316
4	ARAUJO	3	24.351	1.444
4	ARAUJO	5	-62.219	7.679
4	ARAUJO	7	28.270	-12.382
4	ARAUJO	9	16.003	-3.153
5	GUEDES	1	-73.383	10.424
5	GUEDES	2	-40.424	7.379
5	GUEDES	4	62.715	-6.791
5	GUEDES	6	43.478	-12.552
6	LESSA	5	-43.478	17.377
6	LESSA	11	7.108	4.915
6	LESSA	12	7.689	2.457
6	LESSA	13	17.454	7.570
7	FRANCA	4	-28.270	14.264
7	FRANCA	8	.000	-20.523
7	FRANCA	9	28.255	6.254
3	FRROSSARD	7	.000	21.189
9	HEVELTON	4	-16.003	4.551
9	HEVELTON	7	-28.255	-5.437
9	HEVELTON	9	5.362	2.651

12 RUBEN	6 LESSA	-7.819	-2.311
12 RUBEN	13 IANY	1.647	.971
13 IANY	6 LESSA	-17.245	-7.158
13 IANY	12 RUBEN	-1.640	-.964
13 IANY	14 GONTIJO	5.635	2.786
14 GONTIJO	9 HEVELTON	-9.307	-2.344
14 GONTIJO	13 IANY	-5.574	-2.661

PERDAS NO SISTEMA

POTENCIA ATIVA (MW)	POTENCIA REATIVA (MVAR)
------------------------	----------------------------

13.31032	19.96229
----------	----------

FUNCAO OBJETIVO = 13.310 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-24.611	-	1.0969	-
2	TJCOFF	105.443	.000	-687	-5.443	1.0460	56.33
3	WEIZKER	113.501	.000	-4.521	-13.501	1.0169	.00
4	ARAUJO	111.019	-.293	.000	.000	1.0290	.00
5	SJEDES	109.291	-.119	.000	.000	1.0342	.00
6	LESSA	109.431	.000	2.825	-40009.4	1.0658	100.00
7	FRAYCA	110.926	.088	.000	.000	1.0558	.00
8	FRUSSARD	110.926	.000	-.526	-10.926	1.0908	.00
9	HEVELTON	110.897	.345	.000	.000	1.0496	.00
10	ELIAS	111.258	.683	.000	.000	1.0459	.00
11	OMAR	110.592	.525	.000	.000	1.0546	.00
12	RJBEV	111.156	.493	.000	.000	1.0554	.00
13	IANY	111.722	.881	.000	.000	1.0501	.00
14	GONTIJO	113.567	1.409	.000	.000	1.0318	.00

ITERACAO = 1 7.856 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	9.919	-	1.0820	-
2	TJCOFF	102.373	.000	-38.102	-2.373	1.1000	63.45
3	WEIZKER	108.738	.000	-18.449	-8.738	1.0446	.00
4	ARAUJO	105.346	1.209	.000	.000	1.0487	.00
5	SJEDES	103.387	.210	.000	.000	1.0589	.00
6	LESSA	100.776	.000	-6.313	-776	1.0752	100.00
7	FRAYCA	106.743	.390	.000	.000	1.0581	.00
8	FRUSSARD	106.743	.000	-.071	-6.743	1.0909	.00
9	HEVELTON	107.479	.012	.000	.000	1.0427	.00
10	ELIAS	107.094	-.104	.000	.000	1.0376	.00
11	OMAR	104.470	.344	.000	.000	1.0462	.00
12	RJBEV	102.558	.446	.000	.000	1.0513	.00
13	IANY	103.841	.545	.000	.000	1.0436	.00
14	GONTIJO	108.217	.868	.000	.000	1.0238	.00

ITERACAO = 2 7.056 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-8.991	-	1.0954	-
2	TJCOFF	102.325	-.585	19.451	-2.325	1.0559	70.98
3	WEIZKER	108.727	.000	-2.230	-8.727	1.0480	.00
4	ARAUJO	105.251	-.251	.000	.000	1.0668	.00
5	SJEDES	103.387	.000	.000	.000	1.0734	.00



12 RJEN 102.389 .000 .000 1.0536 .00
13 IANY 103.829 .805 .000 1.0347 .00
14 GONTIJO 108.052 .984 .000

ITERACAO =
FUNCAO OBJETIVO = 3. 7.049 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-1.952	-	1.0983	-
2	TUKOFF	102.094	.000	-36.763	-2.094	1.1000	77.26
3	WETZKER	108.620	.000	-5.782	-8.620	1.0566	.00
4	ARAUJO	105.143	1.155	.000	.000	1.0624	.00
5	GJEDES	103.230	.329	.000	.000	1.0704	.00
6	LESSA	100.697	.000	-5.729	-6.97	1.0894	100.00
7	FRANCA	106.506	.439	.000	.000	1.0659	.00
8	FRUSSARD	106.506	.000	-7.769	-6.506	1.0902	.00
9	HEVELTON	107.226	.127	.000	.000	1.0535	.00
10	ELIAS	106.847	.084	.000	.000	1.0493	.00
11	OMAR	104.285	.494	.000	.000	1.0597	.00
12	RUBEN	102.437	.514	.000	.000	1.0663	.00
13	IANY	103.674	.523	.000	.000	1.0584	.00
14	GONTIJO	107.937	.864	.000	.000	1.0366	.00

ITERACAO =
FUNCAO OBJETIVO = 4 5.565 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-15.852	-	1.1000	-
2	TUKOFF	102.043	.000	16.023	-2.043	1.0760	83.39
3	WETZKER	108.136	.000	-8.443	-8.136	1.0693	.00
4	ARAUJO	104.905	.043	.000	.000	1.0797	.00
5	GJEDES	103.087	.160	.000	.000	1.0876	.00
6	LESSA	100.625	.000	-4.339	-6.25	1.0959	100.00
7	FRANCA	106.226	.022	.000	.000	1.0755	.00
8	FRUSSARD	106.226	.000	.135	-6.226	1.0900	.00
9	HEVELTON	106.930	.088	.000	.000	1.0643	.00
10	ELIAS	106.575	.335	.000	.000	1.0598	.00
11	OMAR	104.107	.422	.000	.000	1.0694	.00
12	RUBEN	102.330	.502	.000	.000	1.0752	.00
13	IANY	103.533	.817	.000	.000	1.0675	.00
14	GONTIJO	107.657	1.111	.000	.000	1.0469	.00

ITERACAO =
FUNCAO OBJETIVO = 5 5.634 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PUMW	NOVO V PU	NOVO P MW
-------	------	---------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	--------------	--------------

6	LESSA	100.394	.000	-2.421	.000	1.000	1.000
7	FRANCA	105.939	.030	.000	.000	1.0745	.00
8	FROSSARD	105.939	.000	-5.939	.000	1.0902	.00
9	HEVELTON	106.636	.062	.000	.000	1.0646	.00
10	ELIAS	106.281	.468	.000	.000	1.0612	.00
11	OMAR	103.829	.493	.000	.000	1.0733	.00
12	RUBEN	102.075	.489	.000	.000	1.0813	.00
13	IANY	103.252	.832	.000	.000	1.0733	.00
14	GONTIJO	107.352	1.202	.000	.000	1.0497	.00

ITERACAO = 6
FUNCAO OBJETIVO = 6.576 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PJMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-14.375	-	1.0994	-
2	TUKOFF	101.739	-634	21.154	-1.739	1.0576	93.28
3	WEIZKER	108.196	.000	1.743	-8.196	1.0535	.00
4	ARAUJO	104.812	-311	.000	.000	1.0747	.00
5	GUEDES	103.012	-241	.000	.000	1.0814	.00
6	LESSA	100.625	.000	-352	-525	1.1000	100.00
7	FRANCA	106.109	-062	.000	.000	1.0750	.00
8	FROSSARD	106.109	.000	377	-5.109	1.0897	.00
9	HEVELTON	106.800	.015	.000	.000	1.0658	.00
10	ELIAS	106.452	.432	.000	.000	1.0629	.00
11	OMAR	104.026	.476	.000	.000	1.0760	.00
12	RUBEN	102.298	.476	.000	.000	1.0848	.00
13	IANY	103.474	.823	.000	.000	1.0766	.00
14	GONTIJO	107.529	1.170	.000	.000	1.0518	.00

ITERACAO = 7
FUNCAO OBJETIVO = 5.529 (MW)

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PUMW	LAMBDA Q MW/PUMVAR	GRADIENTE V MW/PJV	GRADIENTE P MW/PJMW	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	-1.311	-	1.1000	-
2	TUKOFF	101.439	.000	-35.263	-1.439	1.1000	97.59
3	WEIZKER	107.857	.000	-7.190	-7.857	1.0643	.00
4	ARAUJO	104.580	1.100	.000	.000	1.0707	.00
5	GUEDES	102.776	.265	.000	.000	1.0792	.00
6	LESSA	100.353	.000	-3.239	-3.353	1.1000	100.00
7	FRANCA	105.901	.316	.000	.000	1.0731	.00
8	FROSSARD	105.901	.000	-1.343	-5.901	1.0917	.00
9	HEVELTON	106.600	.220	.000	.000	1.0641	.00
10	ELIAS	106.238	.321	.000	.000	1.0615	.00
11	OMAR	103.776	.690	.000	.000	1.0755	.00
12	RUBEN	102.025	.610	.000	.000	1.0851	.00
13	IANY	103.206	.493	.000	.000	1.0768	.00
14	GONTIJO	107.301	.867	.000	.000	1.0509	.00

		MW/PU	MW/PUVAR	MW/PUV	MW/PU	MW
1	SCEVOLA	-	-	-9.988	1.1000	-
2	TUKOFF	101.400	.000	6.018	1.0910	100.00
3	METZKER	107.586	.000	-4.777	1.0715	.00
4	ARAUJO	104.414	.004	.000	1.0838	.00
5	GUEDES	102.668	.081	.000	1.0915	.00
6	LESSA	100.266	.000	-2.922	1.1000	100.00
7	FRANCA	105.712	.026	.000	1.0798	.00
8	FRUSSARD	105.712	.000	-1.157	1.0919	.00
9	HEVELTON	106.404	.037	.000	1.0703	.00
10	ELIAS	106.059	.438	.000	1.0667	.00
11	OMAR	103.651	.471	.000	1.0782	.00
12	RUBEN	101.931	.484	.000	1.0856	.00
13	IANY	103.102	.816	.000	1.0777	.00
14	GONTIJO	107.125	1.168	.000	1.0549	.00

ITERACAO = 9 6.103 (MW)
FUNCAO OBJETIVO =

BARRA	NOME	LAMBDA P MW/PU	LAMBDA Q MW/PUVAR	GRADIENTE V MW/PUV	GRADIENTE P MW/PU	NOVO V PU	NOVO P MW
1	SCEVOLA	-	-	1.290	-	1.0981	-
2	TUKOFF	101.171	.000	-13.728	-1.171	1.1000	100.00
3	METZKER	107.640	.000	3.417	-7.640	1.0663	.00
4	ARAUJO	104.331	-.001	.000	.000	1.0820	.00
5	GUEDES	102.577	.056	.000	.000	1.0890	.00
6	LESSA	100.177	.000	-2.592	-1.177	1.1000	100.00
7	FRANCA	105.630	.032	.000	.000	1.0791	.00
8	FRUSSARD	105.630	.000	-1.198	-5.630	1.0922	.00
9	HEVELTON	106.321	.054	.000	.000	1.0596	.00
10	ELIAS	105.974	.454	.000	.000	1.0661	.00
11	OMAR	103.563	.480	.000	.000	1.0779	.00
12	RUBEN	101.841	.483	.000	.000	1.0855	.00
13	IANY	103.012	.819	.000	.000	1.0776	.00
14	GONTIJO	107.039	1.180	.000	.000	1.0544	.00

TENSOES E POTENCIAS DAS BARRAS

BARRA	NOME	TENSÃO (P.U.)	ÂNGULO (GRAUS)	P3ER (MW)	Q3ER (MVAR)	PCARGA (MW)	QCARGA (MVAR)	HEAT/CAPAC (MVAR)
1	SCEVOLA	1.0981	.01	65.1	-21.3	.0	.0	.0
2	TUKOFF	1.1000	-1.22	100.0	29.9	21.7	12.7	.0
3	METZKER	1.0653	-7.09	.0	19.1	94.2	19.0	.0
4	ARAUJO	1.0841	-4.19	.0	.0	47.8	-3.9	.0
5	GUEDES	1.0914	-2.89	.0	.0	7.6	1.6	.0
6	LESSA	1.1000	.02	100.0	18.2	11.2	7.5	.0
7	FRANCA	1.0901	-5.07	.0	.0	.0	.0	.0
8	FRROSSARD	1.0922	-5.07	.0	7.5	.0	.0	.0
9	HEVELTON	1.0706	-5.55	.0	.0	29.5	16.6	21.8
10	ELIAS	1.0559	-4.84	.0	.0	9.0	5.8	.0
11	OMAR	1.0783	-2.55	.0	.0	3.5	1.8	.0
12	RUBEN	1.0856	-1.15	.0	.0	6.1	1.6	.0
13	IANY	1.0777	-1.55	.0	.0	13.5	5.8	.0
14	GONTIJO	1.0551	-4.77	.0	.0	14.9	5.0	.0

FLUXO DE POTENCIA NAS LINHAS

BARRA	PARA	BARRA	P.ATIVA(MW)	P.REATIVA(MVAR)
1	SCEVOLA	2	TUKOFF	38.565
1	SCEVOLA	5	GUEDES	26.508
2	TUKOFF	1	SCEVOLA	-38.286
2	TUKOFF	3	METZKER	52.285
2	TUKOFF	4	ARAUJO	34.501
2	TUKOFF	5	GUEDES	19.799
3	METZKER	2	TUKOFF	-50.759
3	METZKER	4	ARAUJO	-33.437
4	ARAUJO	2	TUKOFF	-33.929
4	ARAUJO	3	METZKER	34.101
4	ARAUJO	5	GUEDES	-51.936
4	ARAUJO	7	FRANCA	9.891
4	ARAUJO	9	HEVELTON	5.078
5	GUEDES	1	SCEVOLA	-26.190
5	GUEDES	2	TUKOFF	-19.615
5	GUEDES	4	ARAUJO	52.372
5	GUEDES	6	LESSA	-24.164
6	LESSA	5	GUEDES	24.164
6	LESSA	11	OMAR	26.733
6	LESSA	12	RUBEN	10.217
6	LESSA	13	IANY	27.685
7	FRANCA	4	ARAUJO	-8.891
7	FRANCA	8	FRROSSARD	-0.000
7	FRANCA	9	HEVELTON	8.890
8	FRROSSARD	7	FRANCA	.000
9	HEVELTON	4	ARAUJO	-5.078
9	HEVELTON	7	FRANCA	-8.890
9	HEVELTON	10	ELIAS	-13.229

ANEXO IX

TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS TESTES PARA A

FUNÇÃO DE PENALIZAÇÃO DA POTENCIA DE GERAÇÃO

DA BARRA DE COMPENSAÇÃO

CASO	SISTEMA	VARIÁV. DE CONTROLE (u)	CORREÇÃO α_V	CORREÇÃO α_{PG}	PCMAX. (MM)	PCMIN (MM)	FATOR de PENALIZA- ÇÃO de PC	PC OBTIDO	OBSERVAÇÕES
16	4 barras	V_i, PG_i	.001	1.	80.	30.	2.	51.4	-
17	"	"	"	"	80.	60.	"	59.5	oscila amortecida- mente
18	"	"	"	"	"	"	1.	59.0	-
19	5 barras	V_i, PG_i	.001	1.	120.	30.	1.	78.0	-
20	"	"	"	"	120.	90.	1.	90.3	-
21	"	"	"	"	"	"	2.	-	divergiu
22	5 barras	PG_i	-	3.	120.	30.	1.	80.1	-
23	"	"	-	1.	70.	30.	"	70.0	oscila amortecida- mente

ANEXO X

TABELA DE RESULTADOS DOS CASOS TESTES PARA A
FUNÇÃO DE PENALIZAÇÃO DAS TENSÕES DAS BARRAS
DE CARGA

CASO	SISTEMA	VARIÁV. DE CONTROLE (u)	CORREÇÃO $\propto V$	V_3 MAX. (pu)	V_3 MIN. (pu)	FATOR de PENALIZA- ÇÃO de V_3	V_3 OBTIDO	FUNÇÃO OBJETIVO (MM)	OBSERVAÇÕES
24	3 barras	V_i	.0005	1.20	.80	1000.	1.084	10.6	-
25	"	"	"	1.00	.80	"	1.011	12.5	-
26	"	"	"	"	"	2000.	1.006	12.4	-
27	"	"	"	"	"	10.	1.057	11.0	-
28	"	"	.0010	1.00	.80	3000.	.983	12.3	oscilou
29	"	"	"	"	"	10000.	-	-	divergiu

ANEXO XI

GRAFICO DE PERDAS DO SISTEMA DE 3 BARRAS

GRÁFICO DE PERDAS DO SISTEMA DE 3 BARRAS

LEGENDA

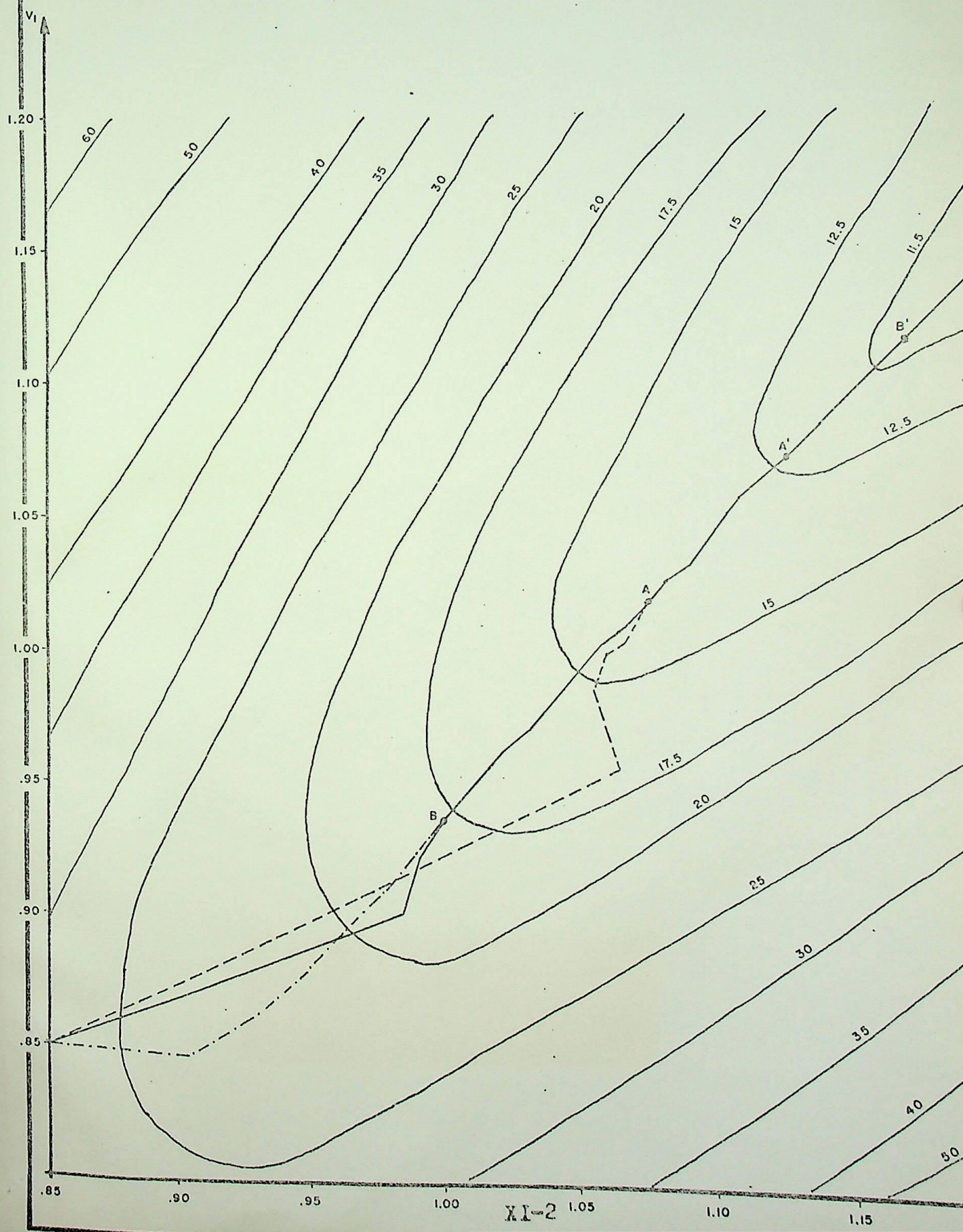
V_1, V_2 - [PU]

PERDAS - [MW]

CASO 24 ———

CASO 26 - - - - -

CASO 27 - · - - · -



[illegible]

NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA